

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství**

**Realizace detektoru CO koncentrace v místnosti a  
eliminace alarmových stavů**

**Implementation of Detector CO Concentration  
Elimination of Alarm Status**

**2018**

**Andre Zakuťanský**

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

## Zadání bakalářské práce

Student: **Andre Zakut'anský**

Studijní program: B2649 Elektrotechnika

Studijní obor: 3901R039 Biomedicínský technik

Téma: Realizace detektoru CO koncentrace v místnosti a eliminace alarmových stavů  
Implementation of Detector CO Concentration Elimination of Alarm Status

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Seznámení se s problematikou dýchacího systému.
2. Seznámení se s možnostmi měření CO.
3. Seznámení se s možnostmi prevence otravou CO v domácnosti.
4. Seznámení se s technologickým vybavením občanské vybavenosti.
5. Návrh zařízení pro měření a eliminaci alarmových stavů.
6. Realizace zařízení.
6. Provedení měření a testů.
7. Zhodnocení naměřených dat a srovnání konstrukčních řešení.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] KLINKOVSKÝ, Tomáš. *Spolehlivost a konstrukce lékařských přístrojů*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2013, 109 s. ISBN 978-80-248-3110-7.
- [2] KLINKOVSKÝ, Tomáš. *Návrh a konstrukce zdravotnické přístrojové techniky*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2013, 161 s. ISBN 978-80-248-3109-1.
- [3] SVATOŠ, Josef. *Biologické signály I: geneze, zpracování a analýza*. 1. vyd. Praha: České vysoké učení technické, c1992, 204 s. ISBN 80-01-00884-3.
- [4] PENHAKER, Marek, Martin IMRAMOVSKÝ, Petr TIEFENBACH a František KOBZA. *Lékařské diagnostické přístroje: učební texty*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2004, 320 s. ISBN 80-248-0751-3.
- [5] PEREZ, Reinaldo. *Design of medical electronic devices*. San Diego: Academic Press, c2002, xi, 279 s. ISBN 0-12-550711-9.
- [6] WEBSTER, John G. a John W. CLARK. *Medical instrumentation: application and design*. 3rd ed. Hoboken: Wiley, c1998, xix, 691 s. ISBN 0-471-15368-0.
- [7] CARR, Joseph J. a John M. BROWN. *Introduction to biomedical equipment technology*. 4th ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, c2001, xv, 743 s. ISBN 0-13-010492-2.
- [8] MACKAY, Stuart R. *Bio-medical telemetry: sensing and transmitting biological information from animals and man*. 2nd ed. New York: IEEE Press, c1993, xiv, 540 s. ISBN 0-7803-4718-8.
- [9] FRADEN, Jacob. *Handbook of modern sensors : physics, designs, and applications*. 4th ed. New York: Springer, c2010, xv, 663 s. ISBN 978-1-4419-6465-6.
- [10] OLANSEN, Jon B. a Eric ROSOW. *Virtual bio-instrumentation: biomedical, clinical, and healthcare applications in LabVIEW*. Upper Saddle River: Prentice Hall PTR, c2002, xxv, 571 s. ISBN 0-13-065216-

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Marek Penhaker, Ph.D.**

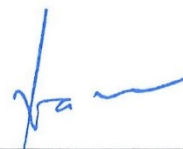
Datum zadání: 01.09.2017

Datum odevzdání: 30.04.2018



---

doc. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.  
*vedoucí katedry*



---

prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.  
*děkan fakulty*

### **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne 30. 4. 2018

*Andree Valentinov*

## **Poděkování**

Chtěl bych touto cestou poděkovat Doc. Ing. Markovi Penhakerovi, Ph. D. za vedení této bakalářské práce.

Dále bych rád poděkoval OKD, HZBS, a.s. v Ostravě-Radvanicích za možnost otestovat zařízení v jejich akreditované laboratoři.

**Abstrakt:**

Návrh a realizace detektoru oxidu uhelnatého, jako akčního členu pro havarijní řešení krizové situace, při používání plynových průtokových ohřivačů v občanské vybavenosti. Práce je rozdělená na teoretickou a praktickou část. V první části je objasněna fyziologie dýchání člověka a vliv oxidu uhelnatého na jeho zdraví. Je popsán průběh otravy a kladen důraz na vývoj zařízení, které je schopno situaci okamžitě vyřešit. Dále jsou popsány technologické možnosti stávající techniky a výhled do budoucna. V praktické části jsou navrženy dvě řešení, jedno ekonomické a druhé technologicky vyspělé. Akční havarijní člen, který je navržen v těchto zařízeních zajistí okamžité odstranění příčiny i následek stavu, který bezprostředně ohrožuje život člověka.

**Klíčová slova:**

Fyziologie dýchání, intoxikace oxidem uhelnatým, prevence otravy, průtokové ohřivače, detektor oxidu uhelnatého, oxid uhelnatý, Arduino.

**Abstract:**

The thesis deals with a design and realization of the carbon monoxide detector as an active element of the emergency response reacting on a critical situation of gas flow heaters in civic amenities. The thesis is divided into the theoretical and practical part. The first part explains the physiology of human respiration and the influence of carbon monoxide on human's health. There is described the course of poisoning and an emphasis is placed on the development of a device which is capable to solve the situation immediately. Further there are described the technological possibilities of existing technology and the prediction of its future development. In the practical part, there are proposed two solutions, a simple and economic one and the other technologically more advanced. The active emergency engine designed in these devices will ensure that the cause is immediately eliminated, as well as consequences of a condition that directly threatens human life.

**Key words:**

Physiology of breathing, carbon monoxide intoxication, prevention of poisoning, flow heaters, carbon monoxide detector, carbon monoxide, Arduino.

# Obsah

<b>Seznam použitých symbolů a zkratek .....</b>	<b>8</b>
<b>Seznam obrázků .....</b>	<b>9</b>
<b>Seznam tabulek.....</b>	<b>10</b>
<b>Seznam grafů .....</b>	<b>10</b>
<b>Seznam rovnic.....</b>	<b>10</b>
<b>Úvod.....</b>	<b>11</b>
<b>1 Fyziologie dýchání.....</b>	<b>12</b>
1.1 Fyziologie dýchání člověka.....	12
1.2 Vliv oxidu uhelnatého na lidské zdraví.....	13
1.3 Otravy oxidem uhelnatým ve světě.....	15
1.4 Otravy oxidem uhelnatým v České republice .....	15
1.5 První pomoc při otravě oxidem uhelnatým .....	15
<b>2 Detekce oxidu uhelnatého .....</b>	<b>16</b>
2.1 Vlastnosti Oxidu uhelnatého .....	16
2.2 Možnosti měření a detekce CO .....	17
2.2.1 Opticky – chemická detekce .....	17
2.2.2 Biomimetická detekce .....	18
2.2.3 Tepelně závislý detektor polovodičového typu.....	19
2.2.4 Elektrochemická detekce.....	20
<b>3 Možnosti prevence otravou oxidem uhelnatým v domácnosti .....</b>	<b>21</b>
3.1 Povolené koncentrace oxidu uhelnatého pro pobyt osob v domácnosti.....	21
3.2 Určení maximálních hodnot pro pobyt.....	21
3.3 Možnosti prevence otravou oxidem uhelnatým .....	21
<b>4 Technologické vybavení občanské vybavenosti.....</b>	<b>22</b>
4.1 Hlídače havarijního stavu.....	22
4.2 Typy zařízení spalující hořlavé plyny .....	23
4.2.1 Průtokové ohříváče a komínové vedení .....	24
<b>5 Návrh zařízení pro měření a eliminaci alarmových stavů.....</b>	<b>26</b>
5.1 Analýza příčin a návrh řešení.....	26

5.2	Možnost připojení k zabezpečovacímu zařízení .....	27
5.3	Vstupní parametry .....	27
5.4	Ventilace .....	28
5.5	Možnosti zaslání informace o havarijním stavu.....	28
5.6	Komponenty k ekonomické a technologické variantě.....	29
5.6.1	Polovodičový senzor MQ-9.....	29
5.6.2	Stavebnice Arduino Uno .....	30
5.6.3	LCD displej Arduino shield 1602 .....	32
5.6.4	GPRS/GSM modul SIM800L EVB .....	32
5.6.4	Elektromagnetické relé.....	33
5.6.5	Elektromagnetický plynový ventil .....	34
5.7	Ekonomické řešení .....	35
5.7.1	Návrh.....	35
5.7.2	Funkční odůvodnění .....	36
5.8	Technologicky vyspělé řešení .....	36
5.8.1	Návrh.....	36
5.8.2	Vývojové prostředí a programování modulu.....	37
5.8.3	Definice datových typů, konstant a proměnných .....	37
5.8.4	Spuštění hlavní funkce programu.....	38
5.9	Odůvodnění .....	39
<b>6</b>	<b>Realizace zařízení .....</b>	<b>40</b>
6.1	Realizace ekonomického modulu.....	40
6.2	Realizace technologicky vyspělého modulu .....	41
6.3	Provedení měření a testů .....	42
<b>7</b>	<b>Zhodnocení naměřených dat a srovnání konstrukčních řešení .....</b>	<b>44</b>
7.1	Srovnání konstrukčních řešení .....	46
<b>Závěr.....</b>		<b>47</b>
<b>Literatura.....</b>		<b>48</b>
<b>Přílohy:.....</b>		<b>50</b>



## Seznam použitých symbolů a zkratek

<b>A/D</b>	Analog to digital
<b>AC</b>	Alternate current (střídavý proud)
<b>CO</b>	Oxid uhelnatý
<b>COHb</b>	karbonylhemoglobin
<b>ČBÚ</b>	Český báňský úřad
<b>ČSN</b>	Česká státní norma
<b>DC</b>	Direct current (stejnoseměrný proud)
<b>EN</b>	European standard (Evropská norma)
<b>GND</b>	Ground (uzemnění)
<b>GPRS</b>	General packet radio service)
<b>GSM</b>	Global System for Mobile Communications (globální systém pro mobilní komunikaci)
<b>LCD</b>	Liquid crystal display (displej z tekutých krystalů)
<b>LED</b>	Light-Emitting Diode (elektroluminiscenční dioda)
<b>NPK-P</b>	Nejvyšší přípustná koncentrace v pracovním prostředí
<b>PEL</b>	Přípustný expoziční limit
<b>SMS</b>	Short message service (krátká textová zpráva)
<b>USA</b>	Spojené státy Americké
<b>USB</b>	Universal serial bus
<b>VDC</b>	volts direct current (volty stejnosměrný proud)
<b>VOC</b>	Volatile Organic Compounds
<b>WHO</b>	World health organization (světová zdravotnická organizace)
<b>kW</b>	kilowatt
<b>ppm</b>	parts per milion (počet částic na milion, 10 000 ppm = 1%)

## Seznam obrázků

Obrázek 1 – Stavba dýchací soustavy .....	12
Obrázek 2 – Průběh intoxikace oxidem uhelnatým.....	13
Obrázek 3 – Limitní graf maximální doby pobytu v dole v zamořeném pracovním prostředí. ....	14
Obrázek 4 – Mapa koncentrací CO ve spodních vrstvách atmosféry v roce 2000.....	16
Obrázek 5 – Princip opticko chemické detekce .....	18
Obrázek 6 – Detekční karta fungující s opticko chemickou detekcí .....	18
Obrázek 7 – Znázornění biomimetické detekce CO .....	19
Obrázek 8 – Princip polovodičového detektoru .....	19
Obrázek 9 – Princip elektrochemické detekce .....	20
Obrázek 10 – Grafické znázornění kategorií plynových spotřebičů .....	23
Obrázek 11 – Průtokový ohřívač Junkers WRD 11-2 G 23 .....	24
Obrázek 12 – Mora 370/371 s ukázkou provozních stavů. ....	25
Obrázek 13 – Vývojový diagram činnosti průtokového ohřívače a zásahu havarijního akčního členu	26
Obrázek 14 – Blokové schéma řešení alarmového stavu .....	27
Obrázek 15 – Polovodičové čidlo oxidu uhelnatého MQ-9 .....	29
Obrázek 16 – Obvod čidla CQ-9.....	30
Obrázek 17 – Arduino Uno .....	31
Obrázek 18 – Modul LCD displeje pro Arduino.....	32
Obrázek 19 – GPRS/GSM modul SIM800L EVB pro Arduino .....	33
Obrázek 20 – Princip a samotné elektromagnetického relé .....	34
Obrázek 21 – Elektromagnetický ventil MIVALT MP-W020020.....	34
Obrázek 22 – Zapojení plynového ventilu a ventilátoru k relé a vstupu z elektrické sítě.....	35
Obrázek 23 – Elektrické schéma ekonomické verze .....	35
Obrázek 24 – Elektrické schéma technologicky vespělé verze.....	37
Obrázek 25 – Ekonomická verze .....	40
Obrázek 26 – Technologicky vespělá verze sestavena pomocí Arduino modulů.....	41
Obrázek 27 – Laboratorní kalibrační měřidlo s výřezem detailu displeje.....	42
Obrázek 28 – Probíhající kalibrační měření.....	43
Obrázek 29 – Zařízení ve stavu zátěžového testování. ....	43

## Seznam tabulek

Tabulka 1 – Patologické účinky intoxikace oxidem uhelnatým závislé na čase a koncentraci.....	14
Tabulka 2 – Doporučení WHO pro délku expozice při určitých koncentracích CO .....	21
Tabulka 3 – Technické parametry čidla MQ-9 .....	30

## Seznam grafů

Graf 1 – Naměřená koncentrace CO při měření plynu o hodnotě 291 ppm.....	44
Graf 2 – Měření nízké koncentrace oxidu uhelnatého .....	45
Graf 3 – Měření vysoké koncentrace oxidu uhelnatého.....	46

## Seznam rovnic

Rovnice 1 – Chemická rovnice frakční saturace s oxidem uhelnatým.....	14
Rovnice 2 – Výroba oxidu uhelnatého.....	16
Rovnice 3 – Reakce uhlíku s vodní párou.....	17
Rovnice 4 – Rovnice hoření oxidu uhelnatého .....	17

## Úvod

Bakalářská práce reaguje na statistiku smrtelných nehod v České republice, které jsou způsobeny otravou oxidem uhelnatým, hledá kořenovou příčinu tohoto stavu, zamýšlí se nad fyziologií člověka, možnosti působení oxidu uhelnatého, jako nebezpečného jedovatého plynu. Hodnotí stav kritických koncentrací oxidu uhelnatého, navrhuje způsob řešení, který cílí na zasaženou a smrtelně ohroženou skupinou obyvatelstva, kterou jsou lidé z převážně nájemního bydlení nebo ti, kteří patří k sociálně slabší skupině.

Dále srovnává zařízení, které převážně způsobuje toto kritické ohrožení s modernějším a lépe technicky vybaveným, který je zpravidla instalováno v moderních domácnostech. Analyzuje příčinu, jak v zastaralé konstrukci plynových průtokových ohřívačů, tak i ve špatně instalovaném napojení na komínový průduch a také poukazuje na možnosti opačného tahu komínového tělesa při změnách počasí.

Vzhledem k naléhavosti řešení situace, která při selhání běžného provozního stavu spotřebiče v krátkém okamžiku mění prostor, zpravidla koupelen bytů, na smrtelně ohrožený a k nedostatečnosti informací obyvatel, převážně dětí, rozpoznat tento stav a urychleně opustit tento prostor. Tato práce směřuje k převratnému řešení, protože ač na trhu již několik let jsou běžně dostupné analyzátory oxidu uhelnatého s možností zvukové signalizace, tak ještě není vyvinuta technologie, která by v kritické situaci přímo odpojila zdroj nehody a za obyvatele v krátké chvíli přeměnila znehodnocený a zdravý škodlivý prostor na čistý, odvětraný.

Z bakalářské práce je zřejmé, že ve světě běžný vysoký technologický pokrok a vyspělé digitální mnohostranně nastavitelné možnosti, jsou domácnosti, kde se nachází zastaralé zařízení a možnosti obnovy na moderní, jsou omezené. Proto mimo ekonomické varianty vhodné pro lidi z nižší příjmové skupiny nebo ty, kteří nemohou měnit nájemní vztahy, navrhuje vyspělé technické zařízení vhodné jednak pro ty, kteří chtějí investovat do lepší technologie nebo chtějí rozšířit stav bezpečnosti v domácnosti i v případě, že používají modernější typ průtokového ohřívače.

V této práci je vyvinut prototyp zařízení, který bude základem dalších ekvivalentů schopných poskytnout uživatelům plný servis informatiky pomocí webového prostředí, mobilních aplikací prevence, analytiky a samozřejmě okamžitého vypnutí příčiny ohrožení v případě nebezpečí.

# 1 Fyziologie dýchání

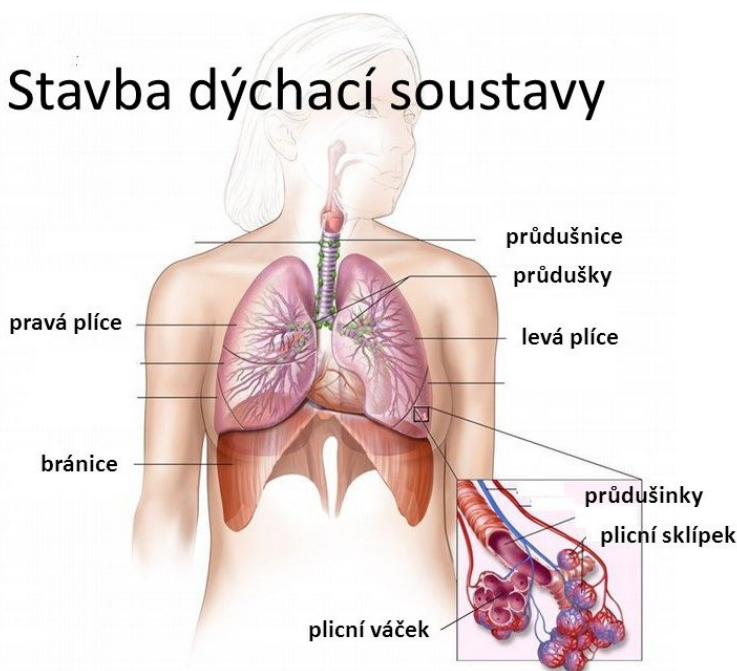
V této kapitole je popsána základní stavba dýchací soustavy, fyziologie dýchání a patologické účinky oxidu uhelnatého v lidském těle. V závěru kapitoly je uvedena statistika úmrtí a zraněných vlivem oxidu uhelnatého u nás i ve světě.

## 1.1 Fyziologie dýchání člověka

Dýchání zajišťuje příjem kyslíku z atmosféry a výdej oxidu uhličitého do atmosféry. Je to trvalý proces, který začíná prvním nádechem novorozence a končí smrtí člověka. Dýchání lze přerušit bez nevratných následků pouze na několik minut. Lidský organismus má kyslík obsažen v krvi, v tkáních a navázaný na myoglobin. Zásoby tohoto kyslíku činí 1,1 l při výdechu – 1,8 l při hlubokém nádechu. Spotřeba v klidu činí 250 ml O<sub>2</sub> za 1 minutu což znamená, že funkční rezerva je na dobu 4-7 minut.

Existence těchto zásob kyslíku si člověk neuvědomuje, jelikož je proces zcela automatický. Fyziologický mechanismus přenosu kyslíku udržuje neustálou saturaci tkání. Je neustále upravován podle aktuálních nároků tkání na spotřebu kyslíku. Dýchací systém zajišťuje také nerespirační funkce. Tím je míněna fonace – vznik a formování zvukového projevu.

### Stavba dýchací soustavy



Obrázek 1 – Stavba dýchací soustavy [19]

Z obrázku 1 je patrná stavba dýchací soustavy, kde dochází k výměně vzduchu z přítomného ve vnějším prostředí s krevním řečištěm v plicních sklípkách.

Fyziologie dýchání je dělena do čtyř částí:

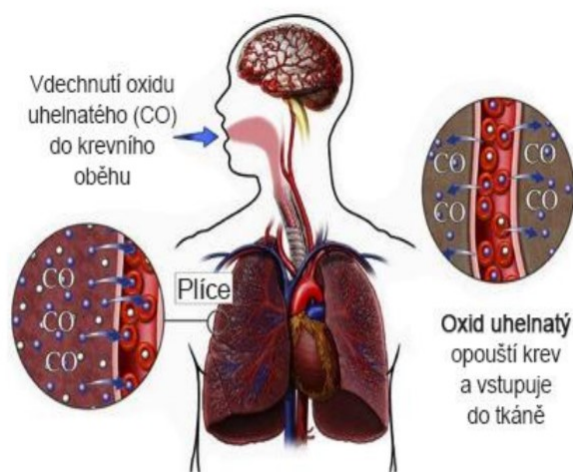
- **Plicní ventilace** – výměna vzduchu mezi vnějším prostředím a plicemi. Zde se vdechovaný vzduch smísí se vzduchem přítomným. Tento fyzikálně-biologický proces se označuje jako mechanika dýchání.
- **Vlastní respirace** – proces přesunu kyslíku z plicních sklípků do kapilár a zpětného přesunu oxidu uhličitého. Tento proces probíhá na základě difuze.

- **Vnitřní dýchání** – transport krevních plynů zajišťovaný systémovou cirkulací. Přesun probíhá mezi krví, tkáňovým mokem a buňkami. Proces také probíhá na základě difuze.
- **Regulace dýchání** – zahrnuje mechanismus plicní ventilace na základě požadavků organismu.

[1]

## 1.2 Vliv oxidu uhelnatého na lidské zdraví

Pro lidský organismus je oxid uhelnatý nebezpečným jedem. Do organismu vstupuje výlučně inhalační cestou a stejně tak je dýcháním z těla vylučován. V České republice má na svědomí mnoho lidských životů. Mnohdy se otrávil i celé rodiny od kouřících kamen, vadných nebo ucpaných kouřovodů.

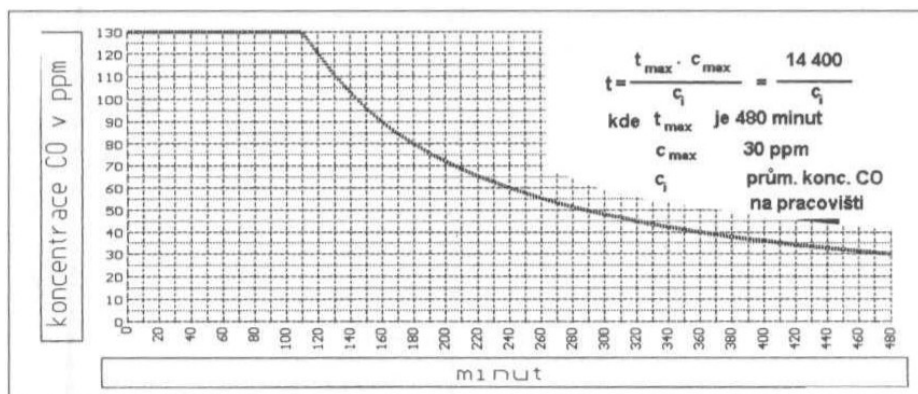


Obrázek 2 – Průběh intoxikace oxidem uhelnatým [12]

Základním problémem otravy CO je vznik karboxylhemoglobinu (COHb) v krvi. Transport kyslíku do všech tkání v normálních podmínkách zajišťuje krev obsahující červené krevní barvivo (hemoglobin). Na jeho dvojmocném železe se rychle váže kyslík prostupující stěnami alveol (plicních sklípků) do kapilár. Vzniká tak nepevná vazba – oxyhemoglobin, který se na místě, kde je spotřebován pro funkci organismu rozpadne. Afinita CO k hemoglobinu je 150 - 350x větší než v případě samostatného kyslíku. Vazba je pevná a takto obsazený hemoglobin, který má znemožněno se dále podílet na funkci těla do doby jeho odstranění. Pokud množství CO a tím pádem nefunkčních hemoglobinů v těle je množství blíží se k 50 %, můžeme hovořit o otravě tímto plynem. Dlouhá léta se považoval tento mechanismus otravy, tedy tkáňová hypoxie, tj. nedostatečné zásobování tkání kyslíkem, za jediný škodlivý vliv CO na organismus. Kdyby tomu tak bylo, zasáhl by řídicí systém dýchacího centra, který by zvýšil kapacitu dýchání a chybějící přenos by nahradil. Není tomu tak. Jed působící na protoplazmu nervových buněk, působí na myoglobin, k němuž má ještě 15krát vyšší afinitu než k hemoglobinu. Myoglobin je obsazen jen v příčně pruhovaných svalectech, tedy i v srdečním. Dostavuje se částečná obrna dýchacího centra, zhoršuje se nervosvalová koordinace, je narušena funkce mozku i srdce. Postižený má postupně necitlivé nohy, ruce a nervový systém. Komplexní působení CO v organismu je z medicínského hlediska značně komplikovanější, než je obecně známo. Při otravách CO vznikají dosti značné poruchy a dochází k řadě patologických změn. Platí to i pro rovněž časté chronické otravy, kdy člověk vdechuje poměrně dlouho CO, avšak v malých dávkách. Nic na působení CO nemění fakt, že jde o jev reverzibilní, tedy vratný a můžeme ho vyjádřit chemickým vzorcem:



Toto je velmi důležitý fakt pro tuto práci, protože tento stav je pro postiženého velmi kritický a je zapotřebí okamžité reakce. Řešení níže popsané, zajistí odpojení kritické látky ještě v době, než dojde k otravě takového rozsahu, aby postižený již nebyl schopen tento prostor samostatně opustit. Pokud je postižený z prostoru včas vyproštěn nebo odejde, má díky zpětnému vylučování CO zpět do krve možnost částečně se tohoto jedu zbavit a postupně se regenerovat. To ovšem jen v mezích, které neovlivnily funkce organismu, tedy otrava nebyla značného rozsahu.



Obrázek 3 – Limitní graf maximální doby pobytu v dole v zamořeném pracovním prostředí. [4]

Tabulka 1 – Patologické účinky intoxikace oxidem uhelnatým závislé na čase a koncentraci [4]

Koncentrace CO ppm	Oxid uhelnatý objem %	Délka expozice a účinek
100 ppm	0,01	Žádné příznaky – bez nebezpečí
200 ppm	0,02	Mírné bolesti hlavy, únava, závrať
400 ppm	0,04	Silná bolest hlavy po 1-2 hodinách, po 3 hodinách je bezvědomí
800 ppm	0,08	Silná bolest hlavy, mdloby, po 2 hodinách je bezvědomí
1000 ppm	0,10	Nebezpečná koncentrace, do 1 hodiny je bezvědomí
1600 ppm	0,16	Silné bolesti hlavy a závratě po 15 minutách. Smrt během 1 hodiny
3200 ppm	0,32	Smrt může být během 30 minut.

CO je nebezpečný i v nižších koncentracích, takže v prostředí, kdy je zanedbaná údržba při provozu průtokových ohříváčů a únik CO je v hodnotách velmi malých, nepostižitelných čichově ani viditelných, ale přesto plně ovlivňující zdraví člověka. Pro názornost na Obrázek 3 je graf zobrazující maximální dobu pobytu v důlním prostředí zamořeném do koncentrace 130 ppm, protože tento maximální limit je povolen bezpečnostními předpisy ČBÚ. V případě, že koncentrace CO je v mezích od běžně povolené hodnoty od 30 ppm do 130 ppm, musí se zkrátit doba pobytu. Při koncentracích vyšších jak 130 ppm křivka grafu začne stoupat s exponenciální závislostí. Tyto hodnoty grafu jsou vztaheny k práci v důlním prostředí a jsou přísnější než bezpečnostní předpisy pro práci na povrchu, které jsou specifikovány níže v kapitole 3.1. Ale i tyto hodnoty lze využít v našem případě, kdy koupelny

neslouží jenom k osobní hygieně, ale jsou zde vykonávány i běžné domácí práce. Tabulka 1 udává, jaké nebezpečí pro člověka vzniká při vyšších koncentracích s délkou expozice.

[3] [4] [6]

### 1.3 Otravy oxidem uhelnatým ve světě

Otravy oxidem uhelnatým se nevyhnou ani vyspělým zemím z důvodu, že do průmyslu a domácností byl v hojné míře zaveden zemní plyn. Protože užití plynu je dlouhodobé, tak se vytratila schopnost obyvatelstva považovat tento plyn za nebezpečný a být vůči jemu užívání obezřetní. V Latinské Americe bylo hodně nehod, které zdevastovaly celé domy a na základě toho byl svět nucen přijmout přísnou legislativu, která dala za povinnost plynofikaci odborně projektovat, realizovat a v pravidelných intervalech revidovat. Přesto se ve statistických údajích, např. i v USA, stále objevuje problematika nízké informovanosti veřejnosti, a to v takovém rozsahu, že v amerických státech je každým rokem ošetřeno 30000-56000 osob a úmrtí způsobené otravou oxidem uhelnatým připadá přibližně na 600-1000 osob, které zemřou v následku náhodné otravy a 3000-6000 na otravy úmyslné. V Evropě je nejhorší situace v Polsku, kde je každoročně hospitalizováno až 46 500 osob.

[3]

### 1.4 Otravy oxidem uhelnatým v České republice

V České republice v 80. a 90. letech prudce klesl počet otrav vzhledem s přechodem svítiplynu na zemní plyn a zavedením katalyzátorů v automobilech. V dnešní době, ale počet mírně roste vzhledem k nedostatečné informovanosti obyvatel o rizicích vzniku CO a jeho závažnosti.

Průměrně ročně zemře na otravu CO 137 osob. Souhrn osob každoročně ošetřených z důvodu otravy CO se liší dle krajů. Podle statistických údajů od 2 do 10 osob na 100 000 obyvatel. Nejčastější otravy se vyskytují v okolí Plzně, Karviné, Brna, Prahy a Liberce. Počet osob hospitalizovaných zde dosahuje 200–220 osob, z čehož přibližně 50 skončí na jednotce intenzivní péče.

[3]

### 1.5 První pomoc při otravě oxidem uhelnatým

Léčba otravy oxidem uhelnatým spočívá v opuštění zamořených prostor a zahájení resuscitace v případě zástavy životně důležitých funkcí. V lékařské péči se pacient v případě vážného stavu napojí na umělou plicní ventilaci a pacient dýchá čistý kyslík nejlépe pod vyšším tlakem. Vyšší tlak kyslíku podle Henryho zákona pomůže rozpustit vyšší obsah tohoto plynu v krevním řečišti. Tímto lze obejít neschopnost postižených buněk hemoglobinu, které díky otravě oxidem uhelnatým už nejsou schopny přenášet kyslík do tkání. Zdravotnická pomoc převážně pacienta umístí do hyperbarické komory na několik hodin, podle závažnosti otravy, aby tělo bylo schopno regenerovat obsah hemoglobinu v krvi a bylo možné pacienta propustit z tlakové léčby do normálního prostředí. Tato terapie se aplikuje v případě závažných otrav. Při mírnější otravě postiženého se postupuje tak, že ho necháme vdechnout do igelitového sáčku, aby bylo možné předat toto zdravotníkům k rozboru a postiženého dáme do klidové polohy, popřípadě podáváme nápoje kofeinového typu a sledujeme jeho stav. Každopádně pokud rty postiženého jsou výrazně třesňové, vždy se jedná o otravu velkého rozsahu a voláme zdravotnickou záchranou službu.

[3] [7]



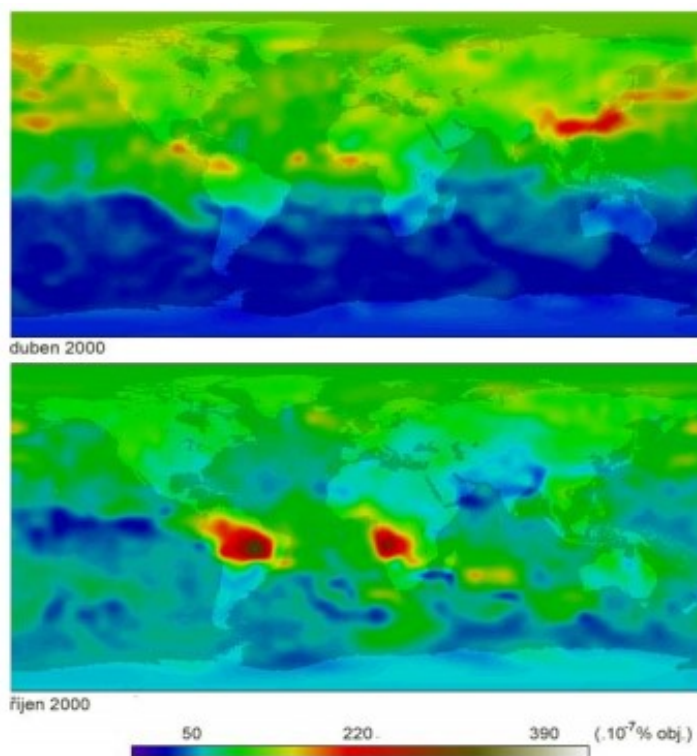
## 2 Detekce oxidu uhelnatého

Pro realizaci detektoru oxidu uhelnatého je nutné znát, jak vzniká tento plyn, jaké má vlastnosti a jakými metodami lze jeho koncentraci změřit. V dnešní době je několik způsobů měření, ale jen některé metody jsou vhodné pro realizaci detektoru popsaného v této práci.

### 2.1 Vlastnosti Oxidu uhelnatého

Oxid uhelnatý je plynem hořlavým, který hoří modrým plamenem. Plyn je bezbarvý, jedovatý, bez chuti a zápachu. Jeho molekulární hmotnost je přibližně stejná jako vzduch, proto se šíří v celém objemu prostředí. Na rozdíl například od oxidu uhličitého, který je plynem těžším a vyplňuje prostor jen ve spodních vrstvách.

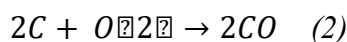
V atmosféře je CO zastoupeno běžně v koncentracích nižších než 10 ppm, což je 0,001 %. Plyn vzniká při nedokonalém spalování hořlavin. Místa s nejvyšší koncentrací jsou převážně v zemích s prudkým rozvojem hospodářství, na obrázku 4 jsou viditelné lokality v Číně, v Brazílii a Angole.



Obrázek 4 – Mapa koncentrací CO ve spodních vrstvách atmosféry v roce 2000 [2]

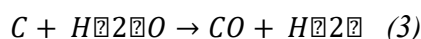
Mezi nejvyšší emitenty CO lze zařadit automobilovou dopravou, spalování na lokálních topeništích, metalurgický průmysl a převážně energetický průmysl, včetně uhelných elektráren. Chemická reakce za přítomnosti malého množství kyslíku je:

*Výroba oxidu uhelnatého [2]*



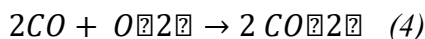
V případě, kdy reaguje s vodní párou a uhlíkem za vysokých teplot je reakce:

*Reakce uhlíku s vodní párou [2]*



Vedlejším zdrojem jsou nedokonalé metabolické procesy u živočichů, kteří ho vydechují do ovzduší. Pokud CO zapálíme, hoří namodralým plamenem a chemická reakce s kyslíkem se prudce slučuje za přítomnosti vývinu vysoké teploty na oxid uhličitý dle rovnice:

*Rovnice hoření oxidu uhelnatého [2]*



Spalná oxidace CO je nejvyšší v koncentracích od 12,5 do 74,2 %, kdy rychlost hoření je v oblasti, kterou nazýváme výbuchem.

[2]

## 2.2 Možnosti měření a detekce CO

Pro zjištění koncentrace oxidu uhelnatého v ovzduší se používají různé typy detektorů, každý způsob je vhodný ke konkrétním účelům. Čidla pro měření CO, které se používají pro hlídání koncentrací jedovatých plynů v bytové výstavbě se odlišují od průmyslových, protože je kladen důraz na jejich cenu, jednoduchost obsluhy a není zapotřebí klást příliš velký důraz na jejich přesnost. V průmyslu je situace zcela odlišná, pro účely této práce uvádím jen technologie měření, které jsou momentálně na trhu dostupné.

Detektory rozdělujeme na tyto druhy:

- Opticky – chemické
- Biomimetické
- Tepelně závislý detektor polovodičového typu
- Elektrochemické

[7]

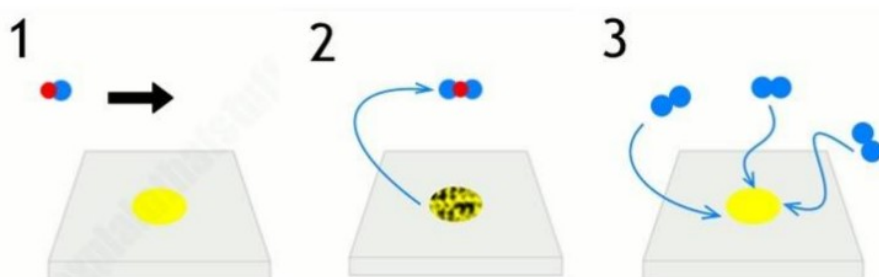
### 2.2.1 Opticky – chemická detekce

Tato metoda detekce se řadí mezi nejjednodušší v rámci měření oxidu uhelnatého. Při této metodě je detektor vybaven detekční plochou s barevnou vrstvou chemické látky. Skládá se z plastové karty, na kterém je béžově zbarvená část, která chemicky reaguje na oxid uhelnatý. Detekční vrstva je naimpregnována katalyzačními solemi palladia nebo molybdenu zrychlující reakci s oxidem uhelnatým. Při kontaktu oxidu uhelnatého s detekční plochou, tak dochází k oxidaci oxidu uhelnatého a touto reakcí změní barvu, od béžové, přes tmavě červenou až po černou. Změna barvy je podle koncentrace plynu. Tato změna barvy se dá optickým snímačem interpretovat na změnu elektrických veličin k dalšímu zpracování. Při vymizení zamoření se chemická vrstva regeneruje pomocí vzdušného kyslíku a mění svou barvu zpět na béžovou. Mezi výhody tohoto způsobu měření patří nízká cena detekčních karet, vzhledem k ostatním způsobu měření. Dále provoz nevyžaduje napájení z baterií.

Mezi největší nevýhody tohoto typu detektoru se řadí nepřesné měření vzhledem k pouhé optické změně barvy chemické vrstvy. Detekční karty mají po zprovoznění pouze 3–6 měsíční trvanlivost, z tohoto důvodu mají na obalu místo pro zapsání data otevření. Vzhledem k technickým

vlastnostem tohoto senzoru není tento předmětem zájmu pro konstrukci použitou pro tuto práci. Na obrázku 5 a 6 je princip funkce detektoru respektive samotná detekční karta.

[8] [9]



Obrázek 5 – Princip opticko chemické detekce [8]

Popis principu z obrázku 5

- 1) Molekuly oxidu uhelnatého jsou v kontaktu s detektorem. Uhlík je značen červeně a kyslík modře.
- 2) Detekce oxidu uhelnatého: CO oxiduje a váže na sebe kyslík z detekční vrstvy a vzniká oxid uhelnatý. Detekční vrstva vlivem reakce s CO mění barvu na černou.
- 3) Regenerace detektoru: V nezamořeném prostředí soli výše uvedených kovů se zpět navazují na kyslík a detekční vrstva se vrací zpět do normálního stavu.

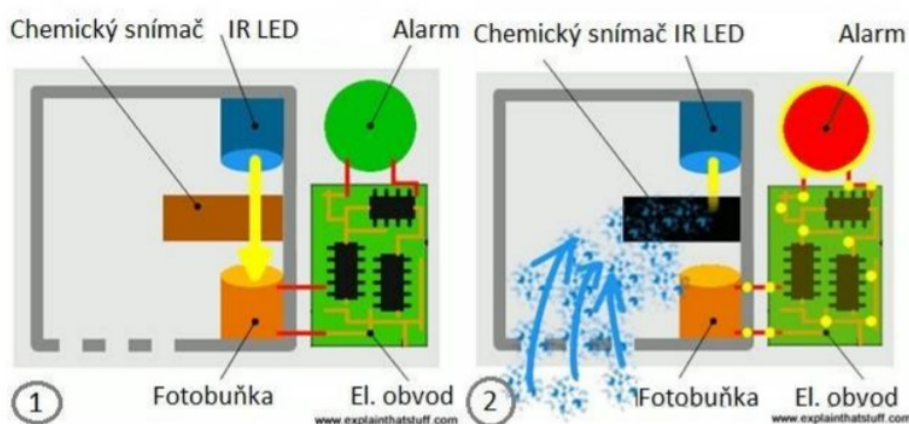


Obrázek 6 – Detekční karta fungující s opticko chemickou detekcí [8]

### 2.2.2 Biomimetická detekce

V případě biomimetické detekce se využívá vlastnosti, kterou známe z lidského těla, kdy hemoglobin při setkání s oxidem uhelnatým mění barvu na výrazně třeshňovou. V čidle jsou umístěné disky potažené reaktivním gelem, který při kontaktu s CO ztmavne. Gelové senzory využívají cyklodextrin, chromofor nebo kovové soli, jež jsou součástí reaktivní vrstvy. Ta je ozářena infračervenou LED diodou a snímán je odražený paprsek, který v případě přítomnosti CO je nižší intenzity. Na tuto změnu je nastaven alarmový stav pro potřeby této práce nebude využit, protože je velmi problematické tento detektor resetovat nebo vynulovat.

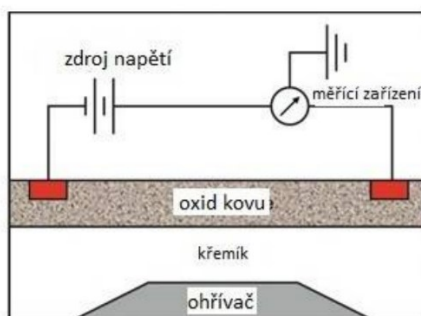
[8] [9]



Obrázek 7 – Znáznornění biomimetické detekce CO [8]

### 2.2.3 Tepelně závislý detektor polovodičového typu

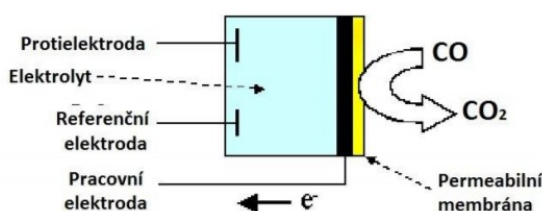
Tento princip měření využívá polovodičové reakce, která vzniká při redukci oxidu kovů. Čidlo je vyhříváno platinový vodičem, který je uvnitř izolačního křemíkového válce, ten je potažen oxidační vrstvou  $\text{SnO}_2$ . CO je plyn hořlavý, proto reaguje nejen s topným tělesem, ale i s oxidační vrstvou. Změny teploty jsou tedy provázeny změnou vodivosti oxidu cíníčitého. Ten díky obsahu kyslíku dokáže reagovat vždy předem definovanou spolehlivou změnou odporu a zaručuje dlouhou životnost čidla v rozmezí předdefinované tolerance. Principem je kyslíková vazba z oxidu kovu, která konverguje s oxidem uhličitým, která se převádí na čistý kov. Reakce je silně exotermická provázená teplotní i elektrickou změnou. Vlastnosti čidla umožňují využití i pro detekci binární směsi. Vzhledem k zaměření této práce, kdy bezpečnost je postavena na sledování čistě oxidu uhelnatého, můžeme považovat tuto vlastnost za kontraproduktivní, protože i použití hořlavých plynů v kosmetických přípravcích nebo sprejích může detektor zcela zmýlit a ten by mohl vyhlásit falešný poplach. Detektor se vyznačuje rychlou odezvou a vysokou citlivostí i na další plyny s vyšší tepelnou vodivostí, jako je například helium, vodík, neon a hlavně metan, který se také může za určitých okolností v bytové výstavbě vyskytnout. Nevýhodou je kolísání nastavených hodnot v případě prudké změny okolní teploty, na což se musí brát ohled při umísťování detektoru. Jako nevyhovující je prostředí v blízkosti dveří a oken. V cenových relacích, v kterých se pro použití v bytové výstavbě pohybujeme, není možné zcela izolovat detekci jen na CO a nahřívání drát se ovlivňuje i sníženou koncentrací kyslíku v prostředí. Toto je typické pro plynové ohřívače, které jsou umístěné v malých koupelnách a nemají přívod vzduchu pro spalování plynů z venkovních prostor. Princip tohoto typu detektoru je znázorněn na obrázku 8.



Obrázek 8 – Princip polovodičového detektoru [8]

## 2.2.4 Elektrochemická detekce

Elektrochemická detekce je doposud nejpřesnější metodou používanou v běžných detektorech oxidu uhelnatého. Jsou spolehlivé a dokáží detekovat i velmi nízké hladiny sledovaného plynu. Principiálně jsou založeny na elektrochemické přeměně oxidu uhelnatého na oxid uhličitý, kdy na jedné elektrodě dochází k redukci oxidu uhelnatého a na druhé elektrodě dochází k oxidaci na oxid uhličitý. Obě elektrody, zpravidla platinové, jsou ponořené do chemického roztoku, nejčastěji kyseliny sírové. Celou elektrochemickou schránku s elektrolytem od běžného prostředí izoluje difuzně otevřená membrána. Ve své podstatě se jedná o palivový článek, který je navržen tak, aby primárně neposkytoval energii, ale pouze ji produkoval v situaci, kdy v ovzduší se vyskytuje oxid uhelnatý, který spustí exotermickou reakci.



Obrázek 9 – Princip elektrochemické detekce [10]

Zahřátý elektrolyt vykazuje menší odpor vůči průchodu elektrického proudu. Reakce je velmi rychlá, což detektor řadí mezi nejlepší technologii k detekci. Informace o koncentraci je zpravidla převáděná z analogické informace na digitální, čidla zpravidla neobsahují jen detektor, ale i elektroniku, která má funkci paměťového zápisu a signalizaci stavu baterie nebo nízkého přívodního napětí. Napájení z baterie není výjimkou, protože detektor má malou spotřebu. Teplo, jak je výše uvedeno, je vyvoláno exotermickou reakcí, nikoliv nutností nahřívat topnou spirálu jako u jiných typů. Životnost detektoru je zpravidla pětiletá. V jediném parametru je tento detektor oproti ostatním horší, a tím je cena výrobku.

[10] [16]

### 3 Možnosti prevence otravou oxidem uhelnatým v domácnosti

Abychom mohli vyjádřit možnosti prevence ve vztahu ke kontaminaci ovzduší oxidem uhelnatým musíme vycházet z hodnot definovaných jako nezávadné a nebezpečné. Tyto hodnoty jsou definované normou pro detektory oxidu uhelnatého, nařízením vlády a také doporučení WHO.

#### 3.1 Povolené koncentrace oxidu uhelnatého pro pobyt osob v domácnosti

Pro nízké hodnoty CO a možných rizicích můžeme převzít doporučení světové zdravotnické organizace (WHO), ale také nařízení vlády č.361/2007 Sb., která stanovuje povolené a maximální hodnoty koncentrace pro pracovní podmínky. Toto nařízení stanovuje jako povolenou hodnotu pro osmihodinovou pracovní dobu (PEL) 30 ppm. Doporučení WHO podle tabulky 2 je tedy přísnější.

*Tabulka 2 – Doporučení WHO pro délku expozice při určitých koncentracích CO [12]*

Koncentrace CO ppm	Časový interval pobytu minuty	Koncentrace CO ppm	Časový interval expozice hodiny
90	10 min	25	1 hodina
50	15 min	10	8 hodin

Z této tabulky je také zřejmé, že i malé hodnoty při delší expozici jsou škodlivé. Toto je jedna z nevýhod ekonomického zařízení, protože se koncentrace nezobrazují na displeji a lze jen nastavit maximální alarmovou hodnotu. U technologicky vyspělé verze zařízení můžeme sledovat i začínající vznik oxidu uhelnatého a případně jej eliminovat. [11] [12]

#### 3.2 Určení maximálních hodnot pro pobyt

Maximální hodnota je stanovena ve výše uvedeném vládním nařízení č.361/2007 Sb. Toto nařízení udává jako maximální hladinu pro osmihodinovou pracovní dobu (NPK-P) 150 ppm. Tuto hodnotu již můžeme brát jako nebezpečnou, ale počítá se jako průměr při dlouhé expozici. Pro nastavení alarmové hodnoty zařízení, je závazná norma ČSN EN 502961 pro detektory oxidu uhelnatého. Tato norma udává, že zařízení musí spustit alarm do 3 minut při koncentraci 300 ppm. Proto na tuto hodnotu jsou zařízení nastavena včetně započtení případné chyby. [13]

#### 3.3 Možnosti prevence otravou oxidem uhelnatým

V dnešní době máme mnoho způsobů ochrany před otravou oxidem uhelnatým. V první řadě musíme definovat co je to prevence. Prevence je soustava opatření, která mají předcházet nepříznivým jevům. Dělí se na primární a sekundární. Primární řeší přecházení nebezpečí a sekundární již vzniklou situaci a snaží se ji řešit včasnou detekcí a zabránění riziku otravy.

Mezi primární prevenci patří:

- Výměna zastaralého plynového spotřebiče za modernější s bezpečnostními prvky
- Pravidelná kontrola a čištění potrubí spalin
- Revize plynového zařízení
- Nevyužívat kamna používající tekutá paliva v místech určených ke spánku
- Zajistit dostatečný přísun kyslíku do obydlí (větrání – možné využití čidla oxidu uhličitého).

Mezi sekundární prevence patří:

- Technologické monitorování pomocí detektoru CO a tím navazujícího řešení pro eliminaci přílišného zamoření oxidem uhelnatým. [14] [15]

## 4 Technologické vybavení občanské vybavenosti

S užíváním prostor k bydlení souvisí spotřeba energie na vytápění a přípravu teplé užitkové vody. Kotle na tuhá paliva i přes moderní systémy, které regulují spalovací proces, jsou před dosažením ideální teploty spalin zdrojem CO a jeho sledování v prostorách kotlen by mělo být samozřejmostí.

Tato bakalářská práce se věnuje nejpálčivějšímu problému, a tím je používání plynových průtokových ohřívačů na přípravu teplé užitkové vody. Nejmodernější ohřívače jsou vybaveny hlídači plamene a volného odtahu spalin do komína, ale nejčastější příčinou nehod jsou ohřívače českého výrobce Mora typu 370/371, které nejsou vybaveny žádnou sledovací elektronikou. Proto je v této práci navržen systém sledování a havarijní reakce v případě alarmového stavu. [24]

### 4.1 Hlídače havarijního stavu

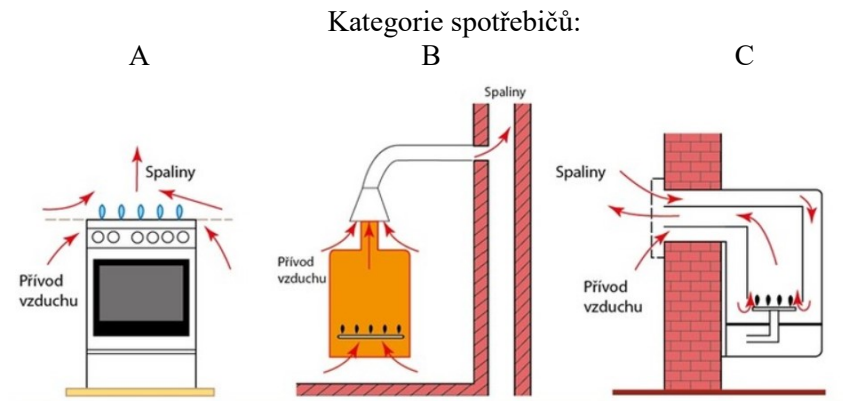
Bezpečnost domácnosti je možno sledovat různými typy hlídačů. Přesto, že bakalářská práce se zabývá pouze zvýšenou koncentrací CO, tak jsou zmíněny další možnosti, které sledovat lze:

- **Autonomní hlásiče požáru** – jsou zpravidla umístěna na stropěch a sledují teplotu ovzduší a přítomnost kouře. V případě zjištění události, která je nastavena jako havarijní a zpravidla spustí poplachový stav, mohou spustit také další nastavená zařízení pro likvidaci tohoto stavu.
- **Detektory hořlavých plynů** – mohou sledovat únik zemního plynu, propan-butanu nebo CO. Umístění čidel je zpravidla v místě nejpravděpodobnějšího výskytu a vlastnosti chování plynu, tedy u zemního plynu jsou hlídače havarijního stavu umístěny pod stropem a u propan-butanu zpravidla u podlahy.
- **Detektory těkavých látek** – se označují jako VOC. Detekují uvolňování toxických látek převážně z nátěrových hmot nebo stavebních materiálů. Jsou rozšířené v průmyslových budovách. V domácnostech zatím nejsou běžné, ale stávají se již součástí technologických vybavení inteligentních domácností, kde sledují i např. koncentrací formaldehydu, toluenu a dalších výparů z rozpouštědel, které mohou ovlivnit lidské zdraví.
- **Čidlo zpětného tahu** – zařízení je součástí moderních průtokových ohřívačů. Sleduje volný odtah spalin do komínu. V případě omezeného nebo dokonce obráceného tahu, vypnou zařízení a tím zamezí zamoření prostředí. Některé spotřebiče nejsou vybaveny standardním komínem pro odtah kouřových zplodin, ale takzvaným turbo systémem. Provoz těchto spotřebičů je podmíněn zapnutím ventilátoru odtahu spalin. Pokud ventilátor odtahu není zapnutý, spotřebič je blokován. Tento systém zvyšuje bezpečnost uživatele. Zamezí se zpětnému komínovému tahu a tím pádem vmetení zplodin hoření do místnosti. U výše zmíněného Mora 370/371 není čidlo osazeno a rovněž není vybaveno ventilací spalin a z toho důvodu za určitých okolností může dojít k opačnému tahu komínem, který ani teplota spalin nepřekoná a místnost ve které je tento průtokový ohřívač umístěn je v kritickém stavu během několika vteřin. Právě z tohoto důvodu je přínosem této práce okamžitá reakce na tento stav.
- **Čidlo zaplavení** – monitoruje prostor okolo zařízení pracujícího s vodní přípojkou a detekuje možný únik vody. Včasným upozorněním umožní předejít dalším škodám.
- **Hlídač tlaku plynu** – je zpravidla namontován na přívod této energie do bytového domu a v situaci prudkého úniku, tím pádem snížení provozního tlaku, je plyn okamžitě uzavřen.

[17] [19] [20] [21] [22] [23]

## 4.2 Typy zařízení spalující hořlavé plyny

Tato práce se zabývá spotřebiči, které jsou schopny produkovat CO. Zdrojem energie, který tyto spotřebiče spalují může být zemní plyn nebo propan-butan. Pro všechny tyto zdroje energie je závazná norma, která třídí spotřebiče do kategorií A, B a C, viz obrázek 10.



Obrázek 10 – Grafické znázornění kategorií plynových spotřebičů [17]

- **Spotřebiče typu A:** v provozu spotřebovávají vzduch z domácnosti a odpadní produkty hoření jsou odváděny do téhož prostoru. Typickým příkladem je plynový sporák na vaření nebo plynová trouba. Koncentrace CO, kterou by mohl tento typ spotřebičů vytvořit patří mezi nejméně nebezpečné. Otravy z těchto spotřebičů jsou převážně v příčinné souvislosti neuzavřených kohoutů plynů, které nejsou zapáleny a unikající plyn způsobí buď výbuch nebo z prostoru vytěsní kyslík.
- **Spotřebiče typu B:** v provozu spotřebovávají vzduch z domácnosti, ale odpadní produkty hoření jsou odváděny do venkovního prostoru. Typickým příkladem je průtokový ohřívač vody. Koncentrace CO, kterou by mohl tento typ spotřebičů vytvořit, patří velmi nebezpečné a jsou předmětem pozornosti této práce, protože porucha odvodu spalin do venkovního prostoru znamená velmi rychlé zamoření bytové části produkty hoření. Vzhledem k vysokému energetickému výkonu (cca 19 kW) je v prostoru okolo spotřebiče velmi rychle vysoká koncentrace CO.
- **Spotřebiče typu C:** v provozu spotřebovávají vzduch z venkovního prostředí a také ho do něho odvádějí. Typickým příkladem jsou topné kotle na zemní plyn nebo podokenní plynová topidla. Vzhledem ke konstrukci, tyto nejsou zdrojem zamoření nebezpečnými plyny.

Příčinný prvek, který je spalován ve spotřebičích typu A, B a C a tvoří potenciální nebezpečí:

- Zemní plyn
- Propan-butan

Zemní plyn je bezbarvý, sám o sobě nezapáchající a hořlavý. Je lehčí než vzduch a není toxický. Ve vysokých koncentracích způsobuje udušení. V jeho složení tvoří největší díl metan. Obsahuje také podíly vyšších alkanů. Podle složení se dělí na čtyři skupiny:

- Suchý: obsahující 95-98 % metanu a nepatrné množství vyšších uhlovodíků
- Vlhký: vedle metanu obsahuje větší podíl vyšších uhlovodíků
- Kyselý: obsahuje vysoké množství sulfanu



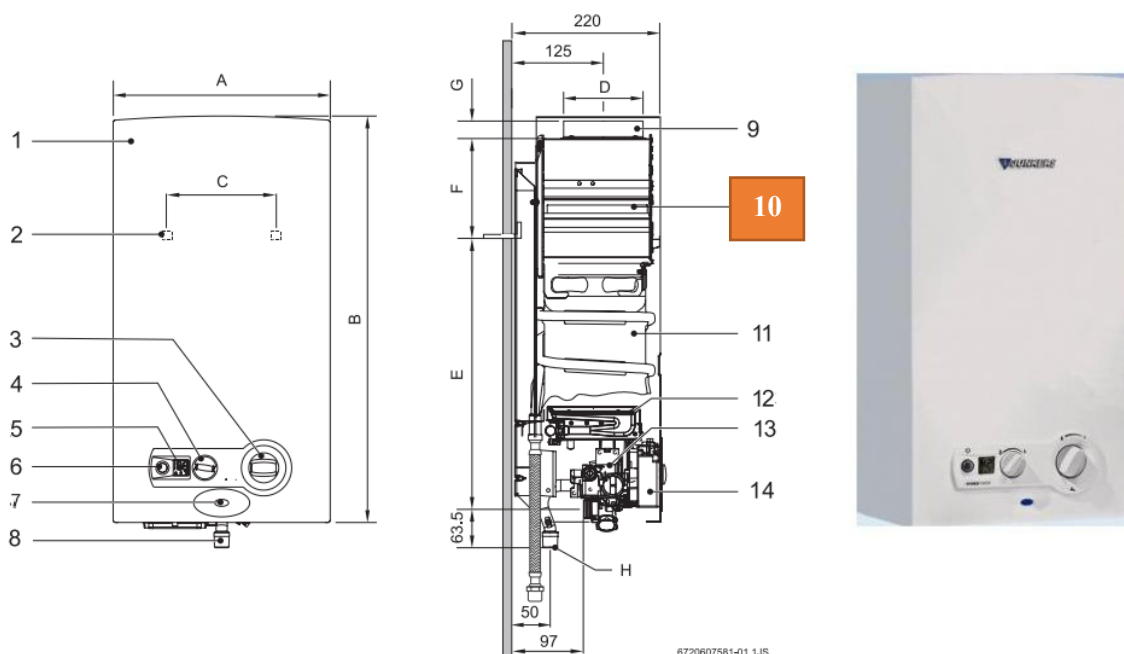
- Zemní plyn s vysokým obsahem inertních plynů.

Propan-butan je při atmosférickém tlaku a pokojové teplotě plynná bezbarvá těkavá látka specifického zápachu. Je těžší než vzduch a sestavuje se převážně z propanu a butanu.

[17] [18]

#### 4.2.1 Průtokové ohřívače a komínové vedení

Bakalářská práce se věnuje spotřebičům typu B – průtokové ohřívače. Na obrázku 11 je znázorněn příklad moderního průtokového ohřívače Junkers minimax WRD11G, který je technologicky vyspělejší a má ochranné prvky pro zamezení úniku nebezpečných plynů do místnosti, ale i pro tyto modernější průtokové ohřívače je vhodné zajistit hlídání koncentrace CO. Pro srovnání konstrukce na následujícím obrázku 12 je nejčastěji používaný technologicky zastaralý průtokový ohřívač Mora 370/371 s vyznačenými rizikovými místy, který nalezneme hlavně ve starších zástavbách. [5]

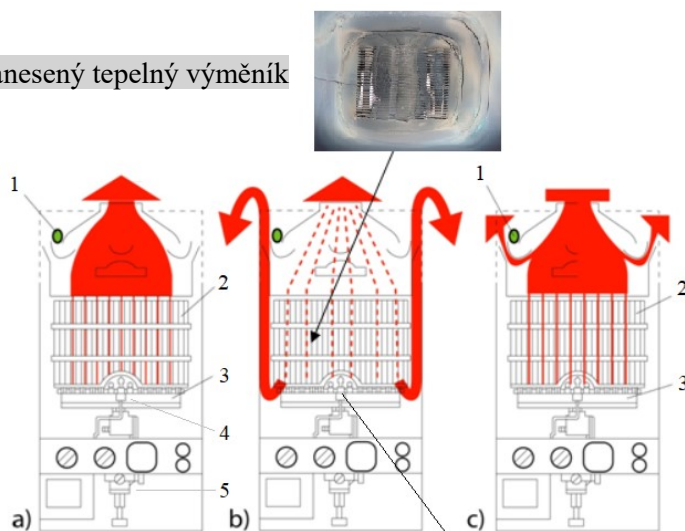


Obrázek 11 – Průtokový ohřívač Junkers WRD 11-2 G 23 [5]

Legenda k obrázku 11:

- |  |  |
|--|--|
| 1. Přední kryt                               | 8. Připojení plynu   |
| 2. Otvor pro montáž na stěnu                 | 9. Spojovací objímka pro kouřovod  |
| 3. Regulátor teploty/množství                | <b>10. Kouřový kanál se zařízením zamezujícím proniknutí spalín zpět</b> |
| 4. Regulátor výkonu                          | 11. Výměník tepla  |
| 5. Digitální displej                         | 12. Hořák  |
| 6. Spínač/LED – kontrolka nízkého tlaku vody | 13. Plynový ventil   |
| 7. LED – Kontrola stavu hořáku               | 14. Zapalovací jednotka.   |

Zanesený tepelný výměník



Zářivě žlutý plamen je znakem  
vysokého obsahu CO ve spalínách



Obrázek 12 – Mora 370/371 s ukázkou provozních stavů. [17]

Legenda k obrázku 12:

- |                                      |                                    |
|--------------------------------------|------------------------------------|
| 1. Ocelový štít pro usměrnění spalín | 4. Zapalovací plamínek             |
| 2. Vodovodní tepelný výměník         | 5. Vodní membránový tlakový spínač |
| 3. Hořák plynu.                      |                                    |

Varianty a, b a c znázorňují různé stavy odvodu spalín. Ve variantě a) je znázorněn normální provozní stav. Veškeré spaliny odcházejí do komína a nijak nekontaminují obytný prostor. Při variantě b) je stav kdy průtokový ohřívač není správně vyčištěn a výměník a komínové ústí je zanesen produkty hoření. Teplo není plně odváděné do komína a dochází k částečnému zpětnému proudění spalín do obytné části. Ve variantě c) je znázorněno plné uzavření komínového ústí produkty spalín.

Další kritická místa u Mora 370/371:

- **Komínová cesta** – Při různých změnách počasí může nastat stav, kdy dojde k otočení tahu komína a spaliny z hořáku přímo kontaminují místnost.
- **Snížení funkčnosti vodní membrány** – dojde k menšímu otevření ventilu plynu a nevhodně nastavené směsi pro hoření.
- **Částečné zanesení hořáku** – při zapálení velkého výkonu na hořáku dojde ke vzduchovému rázu, který zhasne trvalý zapalovací plamen, protože nastavení směsi k hoření je nevhodné, hořák má tendenci zhasínat a znovu se zapalovat, to však není možné, protože trvalý plamen není funkční. Dochází k úniku plynu do doby, než přívod plynu uzavře termistorový senzor. Jeho reakce je však velmi pomalá.

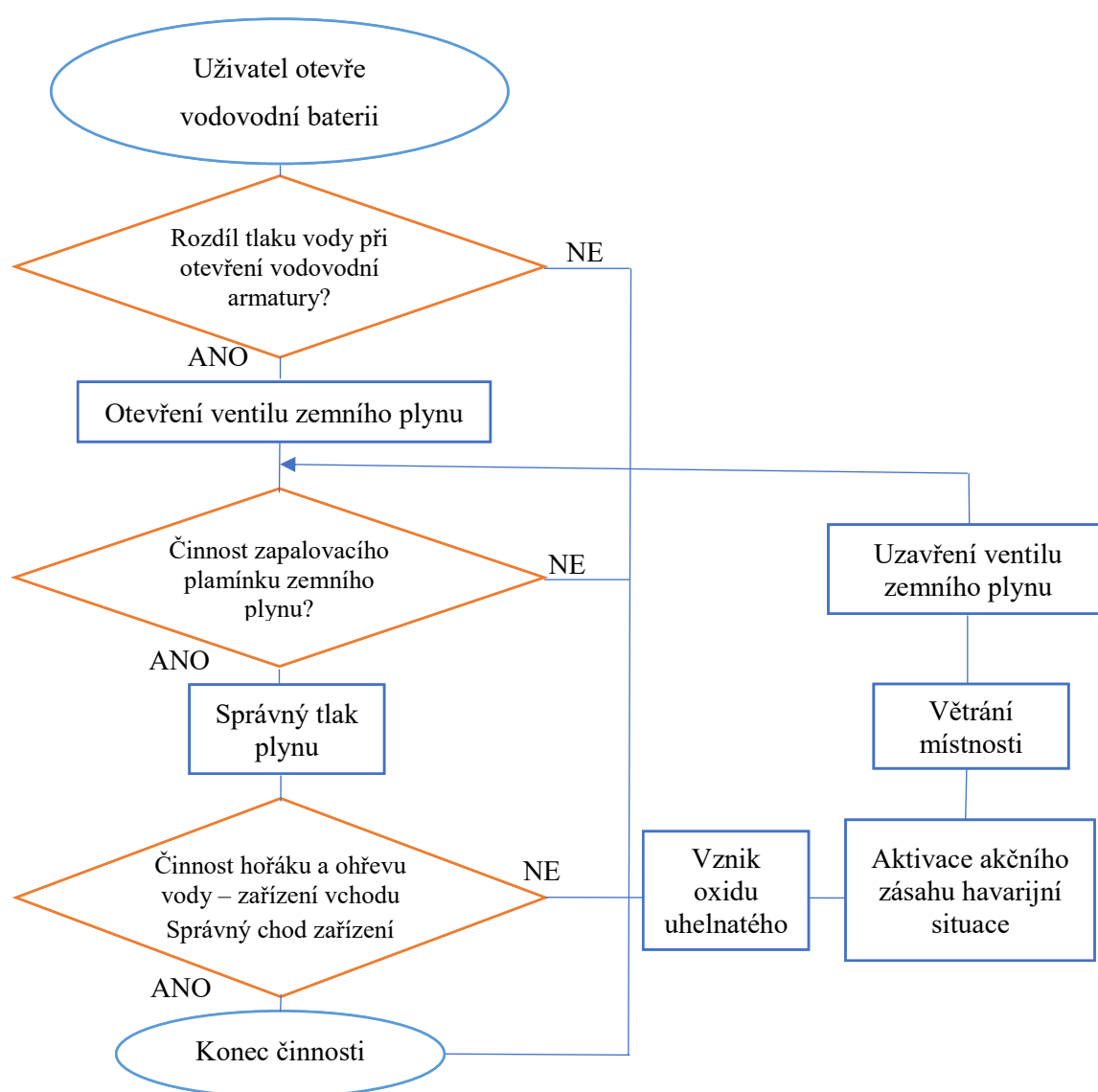
[17] [24]

## 5 Návrh zařízení pro měření a eliminaci alarmových stavů

Problematika provozu plynového zařízení a eliminace vzniku nebezpečných situací, při kterém je ohroženo lidské zdraví je stálým problémem. Občané používají technologicky zastaralé plynové zařízení, kde je obrovské riziko otrav oxidem uhelnatým. Vlivem finanční situace je mnoho obyvatel nuceno tyto přístroje používat a nemají finanční prostředky na modernější zařízení, kde je riziko otrav prudce sníženo. Lidé také podceňují pravidelné kontroly těchto zařízení a tímto jsou vystaveni vysokému riziku vzniku poruchy a nekontrolovatelnému úniku nebezpečných plynů.

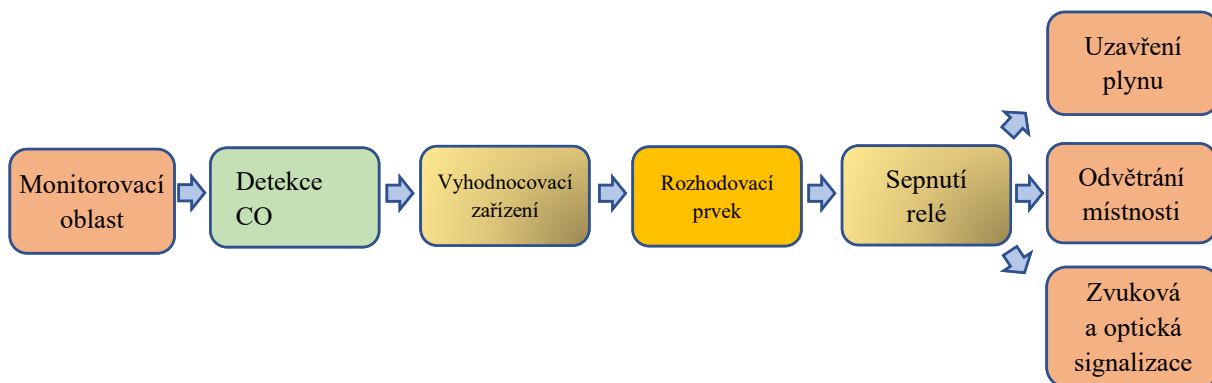
### 5.1 Analýza příčin a návrh řešení

Pro zjištění příčin vzniku poruchového stavu je nutné znát princip činnosti průtokového ohřívače a navrhnout zásah akčního členu při poruchovém stavu. Vše znázorňuje vývojový diagram.



Obrázek 13 – Vývojový diagram činnosti průtokového ohřívače a zásahu havarijního akčního členu

Výhodou akčního členu, který zařízení odpojí od zdroje energie je, že reaguje na jakýkoliv poruchový stav, který nastane v průběhu činnosti, protože zastaralé zařízení se nevypne, jelikož není vybaveno čidly, které by poruchu detekovalo. Tento stav je vždy provázen ztrátou správného spalování tedy vysokým vývinem oxidu uhelnatého. Akční člen provede dva kroky, odpojí průtokový ohřívač od přívodu zemního plynu a spustí odsávání místnosti, případně signalizuje poplachový stav. Blokové schéma zařízení je na obrázku 14.



Obrázek 14 – Blokové schéma řešení alarmového stavu

Na trhu jsou běžně k dostání monitory oxidu uhelnatého. Tyto přístroje na vznik této situace upozorní pouze zvukově nebo opticky, ale nedokáží poruchový stav vyřešit. Zamezení zamoření prostředí je klíčová událost pro záchranu života. Proto je v této bakalářské práci navrženo zařízení, které dokáže důmyslným způsobem zabránit zamoření prostředí koncentrací oxidu uhelnatého do takové míry, aby to nemohlo ohrozit lidské zdraví. Vzhledem k finanční situaci však lidé nejsou ochotni zaplatit za tuto preventivní ochranu vysokou částku. Proto jsou navrženy prototypy dvou zařízení, ale splňující hlavní podmínky, a to vyřešení vzniklé kritické situace. Ekonomické je navrženo na jednoduchost a nízkou cenu. Technologicky vyspělé je určené pro majitele modernějších plynových zařízení, které je navíc připraveno na připojení i jiných senzorů kontrolující jiné parametry prostředí a umožní komunikovat na dálku a upozorňovat případné ohrožení prostor přes GSM modul.

## 5.2 Možnost připojení k zabezpečovacímu zařízení

Pokud je domácnost vybavena zabezpečovacím zařízením například systémem – Jablotron nebo Paradox apod., může využít připravenost těchto systémů na napojení detekce oxidu uhelnatého a zcela nahradit systém Arduino v technologicky vyspělé verzi i zpracovat havarijní signál ke spuštění poplachu a oznámení o této události pomocí SMS, zahájení vytáčení na předem určená čísla a také pomocí programovatelných výstupů zastavit přívod plynu pomocí ventilu. [33]

## 5.3 Vstupní parametry

V kapitole 1.2 je teoreticky probrána problematika vlivu CO na člověka a definovány dovolené a maximální koncentrace pro pobyt v prostředí. Pro realizované zařízení je z těchto důvodů a podle normy ČSN EN 50291 pro detekci CO v obytných místnostech zvolena jako maximální koncentrace pro spuštění havarijního stavu 300 ppm. Zařízení tak je dostatečně nastavené na nízkou hodnotu a zaznamenaná vznikající problém v prvních fázích. Takto nízká koncentrace je zvolena i z toho důvodu, že průtokový ohřívač pracuje s výkony okolo 19 kW a kdyby zařízení reagovalo při vyšší koncentraci,

tak by i s včasným zásahem, mohlo dojít k zamoření prostoru místnosti, protože např. koupelny, kde jsou tyto zařízení nejčastěji umístěny, jsou rozměrově malé.

## 5.4 Ventilace

Přínos bakalářské práce je v řešení okamžitého přerušení dodávané média (zemního plynu) do nesprávně fungujícího plynového zařízení. Tato akce je však nedostatečná, protože prostor je kontaminován jedovatým plynem a převážně děti nemusí správně reagovat tím, že okamžitě opustí zdravotně závadný prostor. Proto, aby byl lidský faktor eliminován, tak při havarijním zásahu zařízení se spustí ventilace místnosti. Ventilátor, který tuto akci provede je také spínán reléovým prvkem ze zařízení. Délka činnosti ventilace je možná nastavit podle místnosti, ve které zařízení hlídá bezpečnost. Podle zapojení realizovaného v této práci je možno použít více typů ventilátorů. Podmínka je napětí 230 V AC a doporučena velikost je od 120x120 mm. Zapojení ventilátoru společně s plynovým ventilem je zobrazeno v kapitole

## 5.5 Možnosti zaslání informace o havarijním stavu

V případě, že nastane havarijní situace, tak přesto, že se vše vyřeší ihned podle logického zásahu realizované zařízení, je výhodné o této skutečnosti informovat odpovědné osoby za tento kontaminovaný prostor. Informace o události může mít několik podob:

- **Akustická signalizace** – může být realizována klasickým reproduktorem z důvodu použití tónů o nízkém kmitočtu, protože tyto prostupují lépe obytnými prostory a jsou slyšitelné na větší vzdálenosti nebo výškovými zpravidla piezoelektrickými reproduktory, které mohou vydávat spektrum zvuků zvyklých pro havarijní situace, jako jsou zabezpečovací zařízení nebo automobilové alarmy. Např. vozy záchranných složek používají k akustické signalizace obě spektra, tedy hluboké a vysoké tóny. Zařízení v této práci využívá piezoelektrický reproduktor.
- **Optická signalizace** – není zapotřebí, aby optická signalizace plnila funkci havarijního osvětlení, jako tomu bývá u jiných zařízení, které odpojují energii a umožňují lidem únik z ohrožených prostor. V zařízení je použita signalizace za pomoci LED a slouží k signalizaci funkčnosti a oznámení o vysoké koncentraci CO.
- **LCD displej** – zobrazuje informace o kalibraci, aktivaci alarmu a CO koncentraci.
- **Odeslání zprávy SMS** – komunikátor umožňuje na předem definovaná čísla zaslat textovou zprávu v libovolném stavu. Je na každém klientovi, aby určil text takový, který pro něho znamená rychlé pochopení situace a rozuměl zprávě už při náhledu, který vzniká při příchodu zprávy na displej telefonu, respektive úvodní notifikace o přichodící zprávě. Mé textové doporučení je ve tvaru: „POPLACH. ZAMOŘENÝ PROSTOR V KOUPELNĚ“.
- **Provedení telefonní hovoru** – GSM modul v této práci není naprogramován pro uskutečnění hovoru, protože zařízení není určeno k prodeji. Možnost telefonního hovoru však patří k jeho výbavě.

Možnosti zaslání informace o havarijním stavu jsou však spojeny s finanční náročností na pořízení. Domácnosti, kde je průtokový ohřívač starého typu, však většinou nemají zájem realizovat řešení, které by bylo finančně náročné. Rozhodl jsem se zohlednit tuto skupinu a práci rozšířit o modul, který obsahuje pouze nezbytné prvky pro vyřešení krizové situace. Skladba součástí je finančně nenáročná neboli v následující kapitole 5.7 Ekonomické řešení je navrženo zařízení s minimální cenou, plnou krizovou funkcí, ale signalizace o události je pouze optická za pomoci LED.

V kapitole 5.8 Technologicky vyspělé řešení je konstrukce splňující všechny výše uvedené možnosti informování o události.

## 5.6 Komponenty k ekonomické a technologické variantě

V této kapitole jsou popsány nejdůležitější komponenty použité k realizaci zařízení. Jsou vybrány podle technických parametrů, vstupních nákladů a vhodnosti použití danému účelu.

### 5.6.1 Polovodičový senzor MQ-9

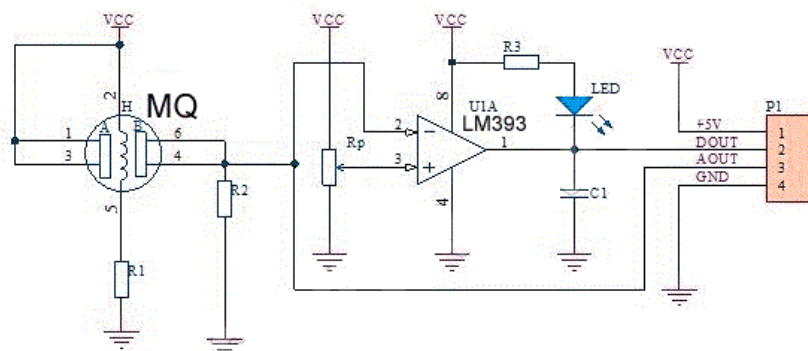
Polovodičový senzor slouží k detekci koncentrace CO tím, že analyzuje změny odporu reprezentovaného napětím na základě elektrochemického principu, který využívá procesu oxidace cílového plynu v našem případě oxidu uhelnatého.



Obrázek 15 – Polovodičové čidlo oxidu uhelnatého MQ-9 [27]

Senzor má rychlou reakci na změnu změřeného média, v této cenové relaci patří mezi vysoce přesné zařízení, disponuje v celém rozsahu lineárním průběhu reakce a je odolný proti rušení okolními vlivy. Další výhodou je vysoká životnost, která je parametrem, pro který je zvoleno právě toto čidlo. Vzhledem ke spotřebě elektrické energie není vhodné bateriové napájení. Čidlo je univerzální a pro přepokládanou dobu životnosti nevyžaduje servisní zásah v podobě kontroly přesnosti porovnávací metodou s přesně definovaným plynem a kalibračním měřidlem. Je vysokým předpokladem, že toto čidlo bude i po 5 letech v provozu stále v mezích tolerance, která je nutná pro účinný zásah v případě, že sledovaná místnost bude zamořena nebezpečným plynem. Technické parametry jsou v tabulce 3 a obvod čidla na obrázku 16.

[25]



Obrázek 16 – Obvod čidla CQ-9

Polovodičový prvek sledující koncentraci oxidu uhelnatého funguje tak, že je v něm nahřívána topná spirála. Ta v případě, že je přítomen plyn hořlavých vlastností se více rozpálí a změní vodivost vrstvy oxidu cínitého, přítomného mezi elektrodami A, B v čidle. Tím se otevře průchod proudu mezi elektrodami A, B a napětí z čidla se dále zpracovává v komparátoru LM393, kde se srovnává s nastavenou hodnotou na vstupu 3, který se nastavujeme potenciometrem definujícím velikost kritického množství CO v ovzduší pro ekonomickou verzi zařízení. Pokud je vyšší napětí na vstupu + (na obrázku vstup 3) je na výstupu kladné saturační napětí přibližně o hodnotě napětí napájecího vzhledem ke ztrátám v komparátoru. Při vyšším napětí na vstupu 2 je výstupem záporné saturační napětí. V technologicky vyspělé verzi zařízení je použit stejný senzor, ale zpracovává se analogový výstup napětí a zařízení vypočítává pomocí průběhu napětí na výstupu přesnou koncentraci plynu.

Tabulka 3 – Technické parametry čidla MQ-9 [25]

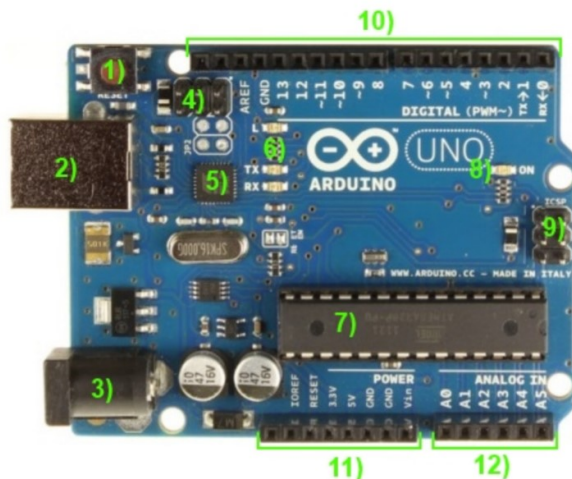
Komparátor	LM393	Výstupní TTL signál (Log. 0 = čistý vzduch)	0,1 nebo 5 V
Typ	MQ-9	Detekovatelná koncentrace CO	10-1000 ppm
Pracovní napětí	5 VDC	Detekovatelná koncentrace hořlavých plynů	100-10000 ppm
Proud	150 mA	Doba zahřívání	20 s
Výstupní signál	0,1-4 V	Rozměry (mm)	36 x 24 x 22

### 5.6.2 Stavebnice Arduino Uno

Ve světě je několik výrobců, kteří vyrábí open source stavebnice. Nejznámější je stavebnice Arduino, ze které lze sestavit a naprogramovat zařízení o různých funkcích, pro tuto práci je důležité, aby v případě překročení nastavených hodnot byl vydán povel pro relé, které provede odpojení přívodu plynu do průtokového ohříváče a vyhlásí alarmovou informaci přes telefonní komunikátor a webové rozhraní.

Srdcem stavebnice tohoto typu je procesor firmy Atmel. K němu se přidávají další elektronické komponenty. Systém nabízí několik typů desek, které se liší rozměry, rozložením a množstvím součástek. Společným poznávacím znakem pro všechny komponenty Arduino je jejich modrá barva. Pro tuto práci je použit model Arduino Uno zobrazen na Obrázek 17. Je vybaven USB a napájecím portem. Verze osazeného procesoru je ATmega328.





Obrázek 17 – Arduino Uno [26]

Popis k obrázku 17:

1. Resetovací tlačítko: Slouží pro případ, kdy je třeba naprogramované parametry spustit znovu od začátku. Umístění znázorněné na obrázku není pevné a může se lišit v průběhu let výroby. Rozpoznávacím znakem je nápis RESET.
2. Konektor USB typ B: Verze Uno je v provedení s ethernetovým nebo USB portem. Zde je použita verze s USB.
3. Konektor sloužící k napájení: Pro napájení desky se používá buď tento konektor nebo se nemusí zapojit a desku můžeme napájet z portu USB.
4. Pinový konektor ICSP pro externí programování přes převodníky.
5. USB-seriál převodník: Slouží ke komunikaci mezi čipem ATmega328 a připojeným PC. Funguje jako překladatel informací.
6. Signalizační LED diody L, Rx a Tx: Blikáním signalizují funkční komunikaci přes sériovou linku.
7. Čip ATmega 328.
8. Signalizační LED dioda připojeného napájení.
9. Obdobný pinový konektor jako u bodu 4.
10. Digitální piny: Slouží k připojení všech prvků se kterými základní deska pracuje.
11. Napájecí výstupy desky Arduino Uno.
12. Analogové vstupy, na které se připojují vodiče pro měření analogových hodnot. Mohou se použít i jako vstupy a výstupy digitální informace.

[26]

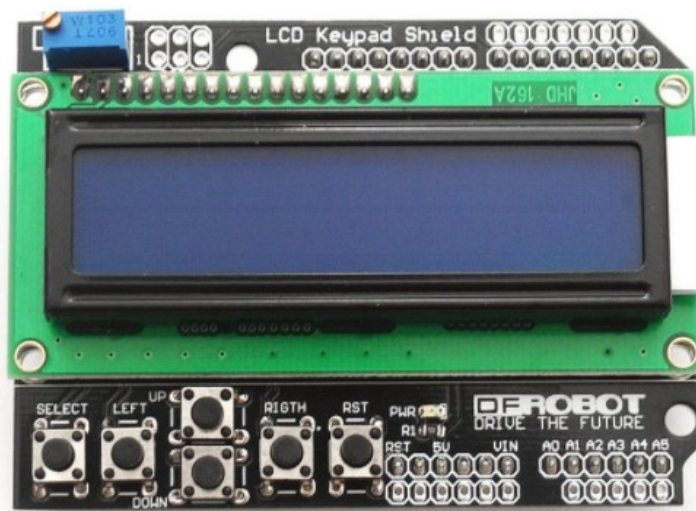


### 5.6.3 LCD displej Arduino shield 1602

Pro použití zobrazení koncentrace CO a alarmového stavu je použit modul LCD displeje pro Arduino UNO. Lze ho nasadit přímo na desku Arduino UNO, neboť obsahuje ze spodní části přípojně piny, které kopírují rozložení analogových a digitálních pinů v Arduino UNO. Pro přehledné umístění všech přípojných modulů v technologicky vyspělé verzi je ale zvolena pozice vedle desky a napájení všech potřebných kontaktů přes pájivé pole. Součástí je také potenciometr měnící jas zobrazení LCD displeje. Modul využívá 4bitovou knihovnu Arduino LCD library, dostupnou ve vývojovém prostředí aplikace Arduino IDE. Tato knihovna pracuje s řadičem HD44780, který je standardním pro většinu znakových displejů.

Specifikace:

- Řadič HD44780
- 16x2 znaků (16 znaků, 2 řádky)
- Velikost zobrazovací plochy: 64,5x16mm
- Bílý text, modré podsvícení
- Napájení 5 V DC
- Potenciometr pro nastavení jasu displeje
- Pro připojení s Arduino UNO využívá 6 digitální výstupů.



Obrázek 18 – Modul LCD displeje pro Arduino [34]

[34]

### 5.6.4 GPRS/GSM modul SIM800L EVB

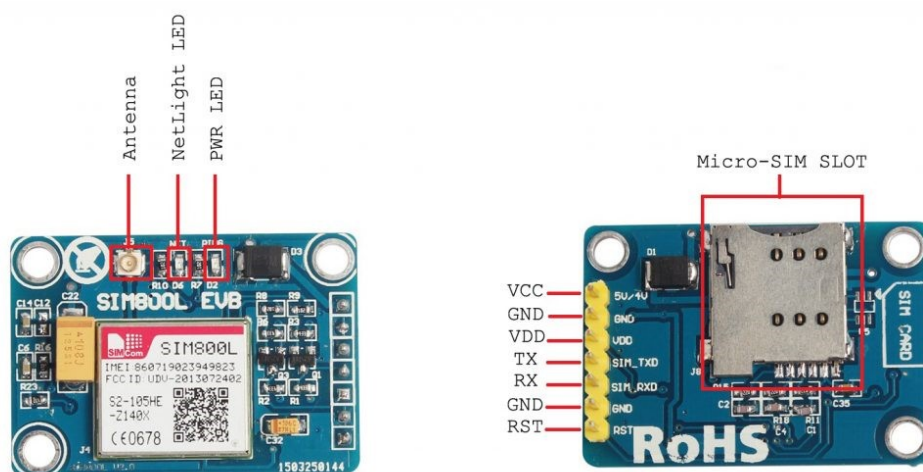
Pro zaslání SMS zprávy a hovoru se využívá v technologické verzi GSM modul s čipem SIM800L. Tento modul obsahuje slot na micro-SIM slot a podporuje všechny světové frekvence (Quand-Band) a je vhodný pro použití po celém světě. Má podporu GPRS, proto je vhodný i pro připojení do internetové sítě. Na trhu je k dispozici i ve verzi bez přídatného modulu pouze samotný čip, ale pro připojení k Arduino je nevhodný, jelikož funguje pouze s napětím 3,7 až 4,2 V a Arduino UNO má pouze výstupy na 3 V a 5 V. Tento modul již dokáže fungovat i po připojení 5 V z Arduino desky. Samotná klidová spotřeba GSM modulu je do 20 mA, ale při registraci do sítě je krátkodobá

spotřeba až 2 A, proto je nutné připojit celé zařízení do 2 A adaptéru. Samotné připojení do desky Arduino UNO je řešení pomocí dvou digitálních výstupu TXD a RXD. Poté se připojuje napájecí napětí 5 V (VCC) a zem (GND). Modul obsahuje výstup na externí anténu. Při programování využívá knihovnu SIM900.h, která není součástí instalačních souborů vývojové aplikace Arduino IDE a je potřeba knihovnu externě nahrát do složky instalace Arduino IDE.

Specifikace:

- Podporované frekvence: Quad-Band 850/900/1800/1900MHz
- Napájení: 5 V DC
- Klidový proud: 20 mA
- Max. proud (špičkový): až 2 A
- Podpora GPRS: třída B – zařízení může buď volat nebo pracovat s mobilními daty, nepodporuje oboje zároveň
- GSM standart 2/2+ - podpora 2G a 2,5G funkcí (mobilní data, hlasová schránka atd.)
- Výstup na externí anténu typ: UF-L.

[32] [31]

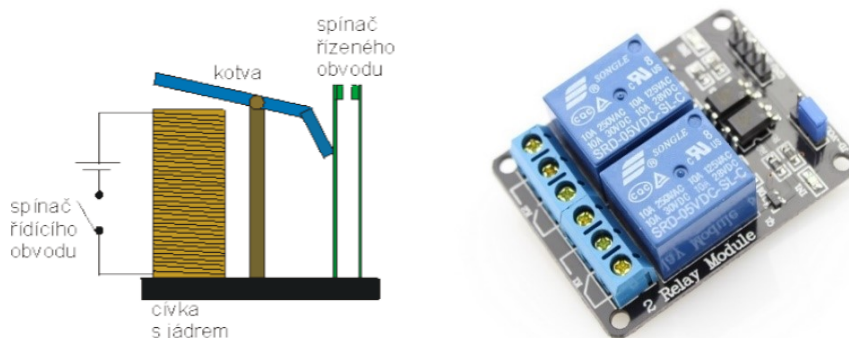


Obrázek 19 – GPRS/GSM modul SIM800L EVB pro Arduino [31]

## 5.6.4 Elektromagnetické relé

Pro potřeby ovládání elektromagnetického ventilu přes systém Arduino a v ekonomické verzi je potřeba relé. Relé je elektrotechnická součástka, která při přivedení ovládajícího napětí sepne spínač řízeného obvodu pomocí cívky a magnetické kotvy. Po odpojení napětí se kotva vrátí do klidového stavu a obvod se odpojí. Relé dokáže ovládat zařízení s mnohem vyšší spotřebou napětí a proudy, než Arduino deska je schopna převést. Otevírací napětí je 5 V DC při minimálním proudu 30 mA. Pro ekonomickou verzi je použito relé stejných parametrů, bez modulu připojující se na Arduino.

[29] [28]



Obrázek 20 – Princip a samotné elektromagnetického relé [29] [28]

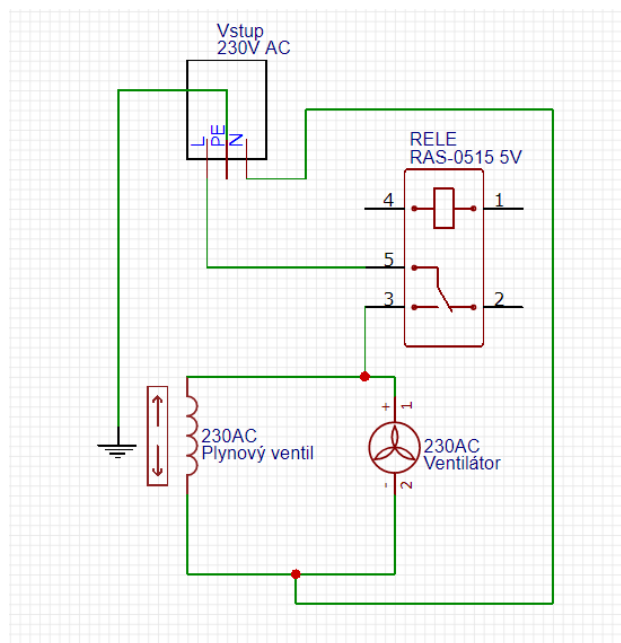
### 5.6.5 Elektromagnetický plynový ventil

Pro zastavení plynu v případě alarmového stavu slouží plynový ventil, ovládaný elektromagnetickou cívkou, který je vhodný pro prostory s možností vysoké vlhkosti vzduchu. Je potřeba vzhledem k principu zařízení, aby jeho ovládací napětí bylo 230 V AC a mohl se připojit přímo do zásuvky elektrického vedení v domě a splňoval funkční podmínku NO. Což znamená, že pokud se na cívku ventilu nepřivede ovládací napětí, zůstane plynový ventil otevřený a při přivedení napětí se ventil uzavře a zastaví se přívod plynu do zařízení. Mezi další požadavek patří stejný průměr závitů, jako má standardní plynové vedení MORA 370/371. Pro tyto účely a vzhledem k ceně byl vybrán ventil od výrobce MIVALT MP-W020020  $\frac{3}{4}$ , který splňuje výše uvedené podmínky. Na Obrázek 21 je znázorněn.

[30]



Obrázek 21 – Elektromagnetický ventil MIVALT MP-W020020 [30]



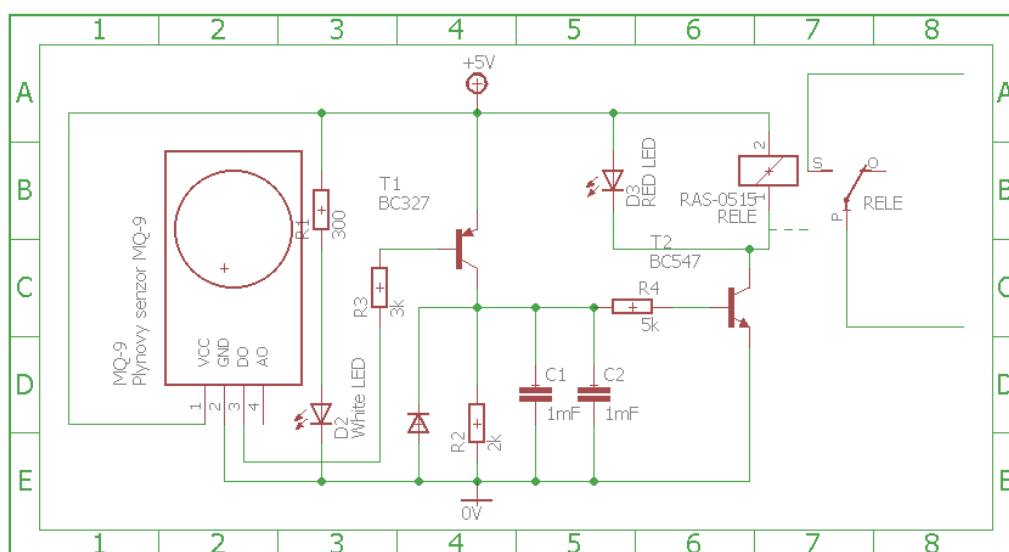
Obrázek 22 – Zapojení plynového ventilu a ventilátoru k relé a vstupu z elektrické sítě.

[15] [16] [17] [18]

## 5.7 Ekonomické řešení

### 5.7.1 Návrh

Na obrázku 23 je schéma zařízení ekonomického modelu, které využívá digitální výstup z výše uvedeného čidla oxidu uhelnatého MQ-9. Informace z čidla je přes soustavu tranzistoru využita k zapnutí relé, které přivedou napětí na elektromagnetický plynový ventil a ventilátor. Předností obvodu jsou kondenzátory C1 a C2, kterými lze nastavit dobu zpoždění vypnutí ventilace. Volba jejich velikostí závisí na objemu místnosti, ve které toto zařízení realizováno. Pro účely této práce je zpoždění nastaveno na cca. 40 vteřin.



Obrázek 23 – Elektrické schéma ekonomické verze

Popis funkce: plyn CO je hořlavý a při jeho zvýšené koncentraci v ovzduší se změní tepelně závislá výstupní informace. Ta je převedena pomocí komparátoru na stav logické jedničky, která je výstupem do dalšího obvodu. Po přivedení na bázi prvního tranzistoru PNP se změní stav v obvodu výkonového tranzistoru NPN ovládajícího relé. Časovací obvod složený z kondenzátorů o velikosti 2mF zpozdí dobu odpojení relé, a tím je zajištěno odstavení plynu a odsávání místnosti. Uživatel je také informován o funkčnosti zařízení a alarmovém stavu bílou, respektive červenou LED diodou.

### **5.7.2 Funkční odůvodnění**

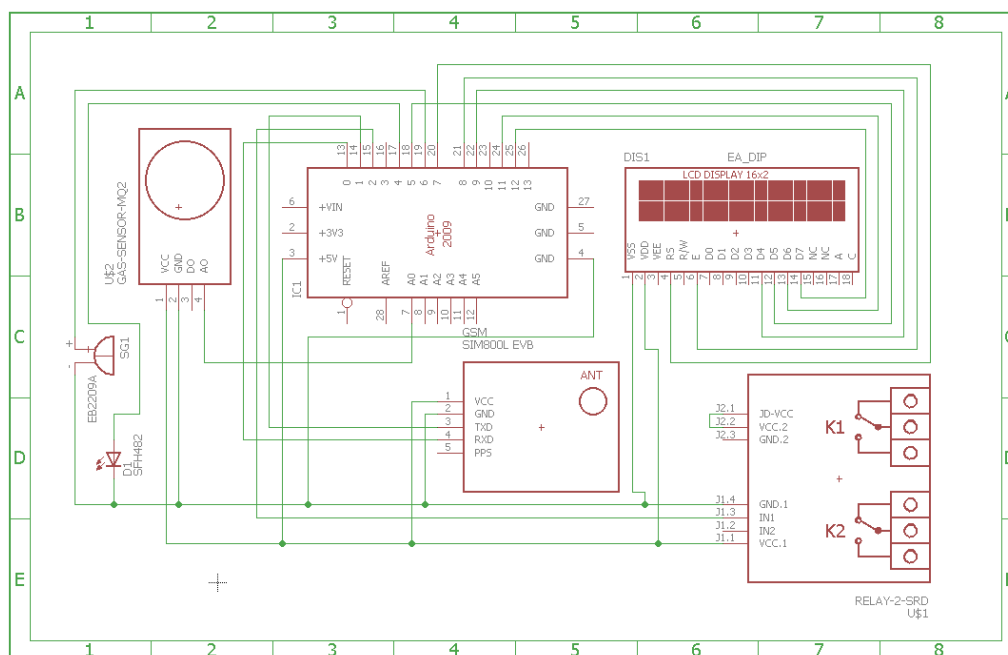
V zapojení je jako preferovaná funkce zpoždění doby, kdy je plyn zastaven a ventilátor odsává i v případě, že koncentrace plynu jsou pod stanovenou hranicí, kdy čidlo reaguje akčním zásahem a tímto nastavením se zamořený prostor plně odvětrá. Při návrhu ekonomického modelu není prioritou znát přesnou koncentraci oxidu uhelnatého, ale zamezit možnému otrávení obyvatel. Odpojit plyn a dosáhnout plného odvětrání. Ekonomický faktor je vážen jako zásadní.

## **5.8 Technologicky vyspělé řešení**

### **5.8.1 Návrh**

V této technologicky vyspělé verzi je plně využita digitální technika, která je celosvětově veřejně známá, odzkoušená a její princip je založen na stavebnicových modulech. Výhodou je, že realizovat takové zařízení mohou zájemci skutečně po celém světě. Platforma Arduino se vyznačuje i tím, že veškeré kódy, které jsou potřeba pro programování a nastavení hodnot, jsou veřejně dostupné a k oživení součástí je vydán podrobný veřejně dostupný návod. Jádrem stavebnicového modulu je založené na platformě UNO, což je nejprodávanější základní model.

V této verzi je využit analogový výstup z čidla MQ-9, což je opačně vůči ekonomické verzi. Analogový výstup se na digitální informaci převádí až A/D 2 bitového převodníku v jádru hlavního stavebnicového modulu. To proto, že kdyby se použil digitální výstup ze senzoru jako v ekonomické verzi, tak by tato informace z čidla nešla zpracovat v Arduino, abychom mohli přepočítat a zobrazit koncentraci v ppm na LCD displej. Změny na čidle se tedy dají zobrazit jako číselná informace na display, kde se minimální a maximální hranice stejně jako reakční doba zvukové a optické signalizace dají nastavit pomocí programovacího kódu. Programováním lze nastavit i odesílání informací z GSM modulu, ať již v podobě SMS nebo hovorové zprávy.



Obrázek 24 – Elektrické schéma technologicky vyspělé verze

## 5.8.2 Vývojové prostředí a programování modulu.

K naprogramování Arduino UNO slouží vývojové prostředí Arduino software ve verzi 1.8.5. Tento software je volně stažitelný na internetových stránkách výrobce Arduino. Obsahuje základní knihovny pro práci s jednotlivými přídatnými moduly. Program je velice intuitivní a využívá příkazy, které jsou univerzální pro všechny Arduino verze. V této kapitole jsou popsány nejdůležitější části kódu a vysvětlení jejich funkce. Celá verze kódu je také v příloze 1.

## 5.8.3 Definice datových typů, konstant a proměnných

V první části jsou definované použité knihovny, které obsahují příkazy pro ovládání LCD displeje a GSM modulu. Dále jsou popsány použité digitální piny, kterými Arduino komunikuje s instalovanými moduly, včetně diody, relé a reproduktoru. Pro kalibraci senzoru při zapnutí se zde nastavuje frekvence, počet vzorků během kalibrace i jednotlivý interval mezi vzorky. Tyto hodnoty se v programu udávají v milisekundách. V poslední části je doporučeno nastavení výrobcem senzoru pro citlivost měnící se křivky odporu, při různých koncentracích oxidu uhelnatého.

### První část kódu nastavující vstupy, konstanty, proměnné a frekvence měření:

```
#include <LiquidCrystal.h>
#include <SoftwareSerial.h>
LiquidCrystal lcd(7, 8, 9, 10, 11, 12);
SoftwareSerial GSM(1, 0);
const int MQ_PIN=A2;
int RL_VALUE=5;
float RO_CLEAN_AIR_FACTOR=11.30;
int CALIBRATION_SAMPLE_TIMES=500;
int CALIBRATION_SAMPLE_INTERVAL=100;
int READ_SAMPLE_TIMES=10;
int READ_SAMPLE_INTERVAL=40;
int relay = 2;
```

```

int buzzer = 6
const int ledPin = 4;
#define GAS 1
float COCurve[3] = {2.3,0.72,-0.34};
float Ro = 10

```

#### 5.8.4 Spuštění hlavní funkce programu

V první části se LED diody, reproduktor a relé nastaví jako výstupní. Dále se spustí pod kalibrace, která měří odpor vzduchu v čistém prostředí a uloží hodnotu do proměnné. Tato hodnota se pak dělí s definovanou hodnotou výrobcem pro čisté prostředí. Slouží pro přesnější výpočet koncentrace CO. Pro přepočtení hodnoty v ppm se využívá také doporučený výpočet výrobcem, který matematicky vyhodnotí poměr aktuální velikost odporu k velikosti v čistém prostředí a tu následně srovná s výrobcem udávanou velikostí křivky závislosti změny poměru na množství v ppm. Tato velikost je poté uložena do proměnné.

##### Výpočet odporu reprezentují napětí:

```

float MQResistanceCalculation(int raw_adc)
{
return (((float)RL_VALUE*(1023-raw_adc)/raw_adc));
}

```

##### Přepočtení hodnoty do ppm:

```

long MQGetGasPercentage(float rs_ro_ratio, int gas_id)
{
if ( gas_id == GAS_CO ) {
return MQGetPercentage(rs_ro_ratio,COCurve);
}
return 0;
}
long MQGetPercentage(float rs_ro_ratio, float *pcurve)
{
return (pow(10, ( ((log(rs_ro_ratio)-pcurve[1])/pcurve[2]) + pcurve[0])));
}

```

Hlavní funkce čte a zobrazuje hodnotu v ppm na LCD displeji. V této části se nastavuje hladina spuštění alarmu pomocí podmínky "if". Při dosažení této hodnoty se spustí. Se spuštěním podmínky se provedou všechny příkazy v této části, což je spuštění diody, přepínání reproduktoru na HIGH a LOW, přepnutí relé na HIGH, odeslání SMS a zobrazení varovného textu na LCD displeji: "Pozor vysoký obsah CO". Pokud hodnota CO klesne pod hranici podmínky "if", relé se vypne až po uběhnutí nastavené doby zpoždění, v tomto případě po uběhnutí 50 vteřin. Doba délky sirény, velikost podmínky a dalšího nastavení jde jednoduchou formou změnit přes počítačovou aplikaci.

##### Část kódu hlavní funkce programu:

```

void loop()
{
long iPPM_CO = 0;
long iRs = 0;
iPPM_CO = MQGetGasPercentage(MQRead(MQ_PIN)/Ro,GAS_CO);
iRs = MQRead(MQ_PIN);
if (iPPM_CO >= 234)
{
lcd.clear();

```

```

    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("Pozor vysoky");
    lcd.setCursor(1,5);
    lcd.print("obsah CO");
    GSM.println("AT+CMGF=1");
    delay(1000);
    GSM.println("AT=CMGS\""+4207766903XX\"\\r"); // nastavení telefonního čísla
    delay(1000);
    GSM.println("POPLACH. ZAMORENY PROSTOR V KOUPELNE");
    delay(200);
    GSM.println((char)26);
    digitalWrite(ledPin, HIGH);
    digitalWrite (buzzer, HIGH) ;
    delay(50);
    digitalWrite (relay, HIGH);
    delay(50);
    digitalWrite (buzzer, LOW) ;
    delay(50);
    digitalWrite (buzzer, LOW) ;
    delay(50000);
}
else
{
    digitalWrite (ledPin, LOW);
    digitalWrite (buzzer, LOW) ;
    digitalWrite (relay, LOW);
    lcd.clear();
}

    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("Koncentrace CO");
    lcd.setCursor(1,5);
    lcd.print(iPPM_CO);
    lcd.print("      ppm");
    delay(1500);
}

```

## 5.9 Odůvodnění

V technologicky vyspělé době, by nebylo správně, aby zařízení, které má za úkol hlídat bezpečnost provozu problematických průtokových ohřívačů, neodpovídala běžnému standartu. Z tohoto důvodu je tato technologicky vyspělá verze považována jako hlavní pro účely této práce. Celé zařízení bylo zakoupeno, sestaveno, naprogramováno a odzkoušeno.

Ekonomický model je určen skutečně jen pro úzkou skupinu lidí. Výhodou sestavy Arduino je možnost rozšíření o další funkce podle případných speciálních požadavků případného zákazníka. Např. senzor teploty, vzdušné vlhkosti, požární čidlo, oxidu uhličitého a jiných nebezpečných plynů, které se v domácnosti vyskytují. Stejně tak jako možnosti zobrazení na jiných typech displejů, mobilních telefonů a jiných komunikačních prvků.

Jako mírnou nevýhodu je zapotřebí zdůraznit možnost vstupu neodborné manipulace s nastavením hodnot, které jsou bezpečnostně důležité, protože se jedná o otevřené softwarové nastavení. Znalejší člověk je schopen přenastavit zařízení, protože nejde zablokovat přístup.



## 6 Realizace zařízení

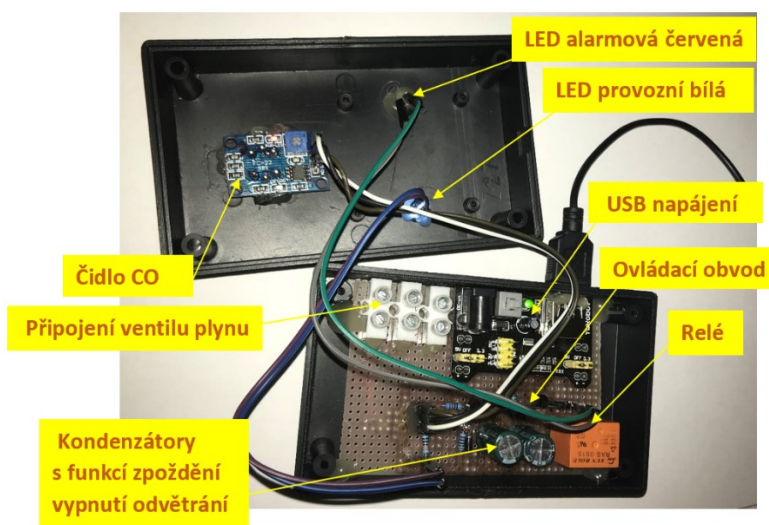
Při realizaci zařízení bylo dopředu určeno několik faktorů ke splnění:

- Vytvořit ekonomickou verzi
- Vytvořit technologicky vyspělou verzi
- Realizovat zařízení z veřejně dostupných součástek
- Použít open source softwarové řešení
- Poskytnout možnost funkčních změn
- Najít řešení pro širokou škálu nastavených hodnot
- Zařízení otestovat ve zkušebním provozu
- Zařízení funkčně ověřit a zkalibrovat v akreditované laboratoři.

Nejvýznamnější překážkou v předem nastavených faktorech se ukázala kalibrace zařízení v akreditované laboratoři a chtěl bych tímto poděkovat vyhovění žádost o možnost řešení tohoto problému Hlavní báňské záchranné stanici v Ostravě-Radvanicích. Snadno se tak zařízení podrobilo odborné poradě, testování v simulačním prostředí a byly provedeny měření s výsledky v kapitole 7.

### 6.1 Realizace ekonomického modulu

Zařízení je umístěné v plastovém boxu, který umožňuje bezpečné zakrytí konstrukce a montáž v místě realizace. Na víku plastového boxu je ve vyvrtaném otvoru umístěno čidlo CO, které mírně přesahuje povrch boxu, aby bylo zajištěné lepší proudění vzduchu okolo čidla. Ve víku jsou také umístěny LED diody signalizující provoz a alarmový stav. Na boční straně boxu je vstup pro USB kabel typu A, na téže straně je svorkovnice pro silové relé. Tato část je vhodně izolačně upravena, aby bylo možné připojit zařízení na 230 V. Taktéž vedení od přípojné svorkovnice k silovému relé je izolováno od základní desky. Realizace zařízení je provedena na desce propojovacího pájivého pole a jednotlivé součástky jsou do něho připojeny cínovým spojem. Napájecí napětí je 5 V a nominální odběr je v hladině 180 mA. Při přepnutí do alarmového stavu se k odběru přidává relé a alarmová dioda a proudová zátěž se zvýší o 50 mA. Propojovací vedení v boxu je pomocí měděných vodičů délkově dimenzovaných tak, aby byl umožněn snadný servisní zásah v případě potřeby.

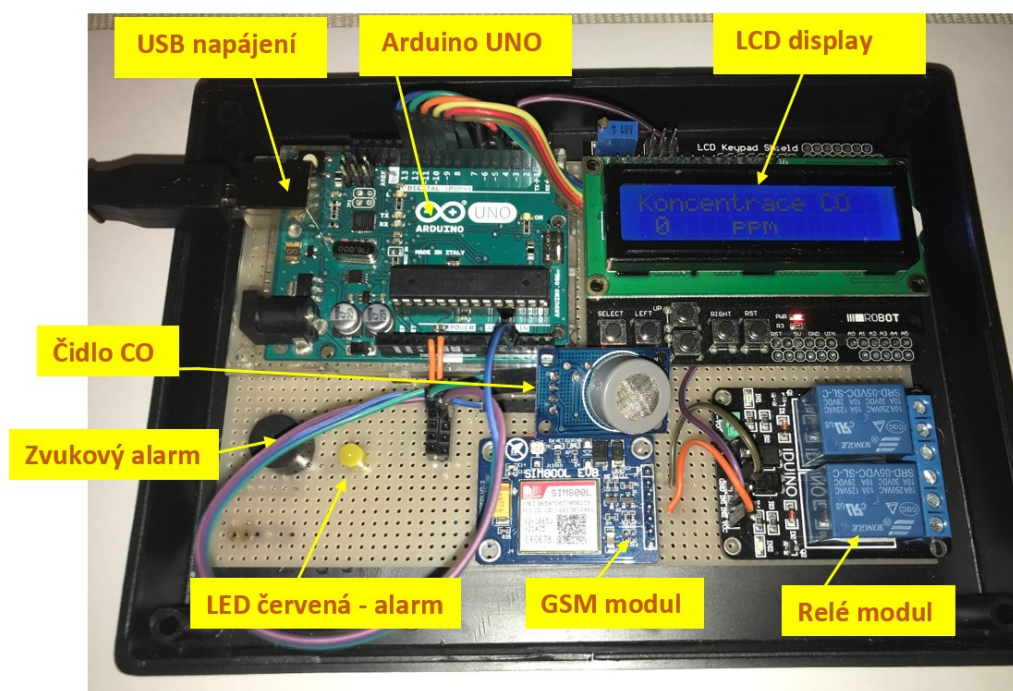


Obrázek 25 – Ekonomická verze

## 6.2 Realizace technologicky vyspělého modulu

Stejně jako v předešlém případě, tak i technologicky vyspělá verze je umístěna v plastovém boxu a propojení jednotlivých modulů pomocí pájivého pole s cínovými propojkami. Na boku plastového boxu je otvor pro USB napájení a připojení spotřebičů (plynový ventil a ventilátor). Čidlo CO přesahuje povrch vrchního krytu pro zajištění dobré ventilace vzduchu. Ve vrchním krytu je také průhled pro LCD displej, který v provozním stavu má dostatečnou jasovou intenzitu, aby byl přes tento otvor čitelný i z větší vzdálenosti. LCD displej zobrazuje různé informace: při zapnutí zobrazuje uvítací text Arduino a informace o průběhu kalibrace, aby se pak zobrazil provozní stav s údaji o hladině CO v ovzduší v ppm. Mezi USB napájením a LCD displejem je umístěna základní deska Arduino UNO, ze které jsou provedeny propojky k silovým relé, GSM modulu, LED a reproduktoru. S LCD displejem je základní modul propojen šesti digitálními výstupy. Reprodukter umístěný v boxu je natolik intenzivní, že přes vyvrtaný otvor dokáže dostatečně ozvučit místnost o velikosti běžné koupelny, což pro naše zařízení je dostatečné. Poplach pro ostatní prostory nebo zainteresované osoby je realizován GSM modulem nebo je možnost zařízení propojit se zabezpečovacím systémem v objektu a ten by mohl zvukový alarm rozšířit o vnitřní nebo vnější poplachovou sířenu, která bývá součástí těchto zabezpečení.

Po sestavení zařízení je pro jeho oživení nutné ho připojit k PC pomocí USB kabelu. Program Arduino IDE instalovaný v PC se spojí se základním modulem Arduino UNO a nahrají se nastavovací kódy. Taktéž je možné nastavit veškeré parametry, které se týkají činnosti zařízení. Hladina CO pro vyhlášení poplachu byla v tomto případě nastavena na 300 ppm s tím, že zařízení je podrobeno zátěžovým zkouškám a kalibračním měřením i testů v akreditované laboratoři a konečná hodnota je nastavena až po provedení praktických a teoretických výpočtů v kapitole 7, včetně programovacího kódu v příloze.



Obrázek 26 – Technologicky vyspělá verze sestavena pomocí Arduino modulů

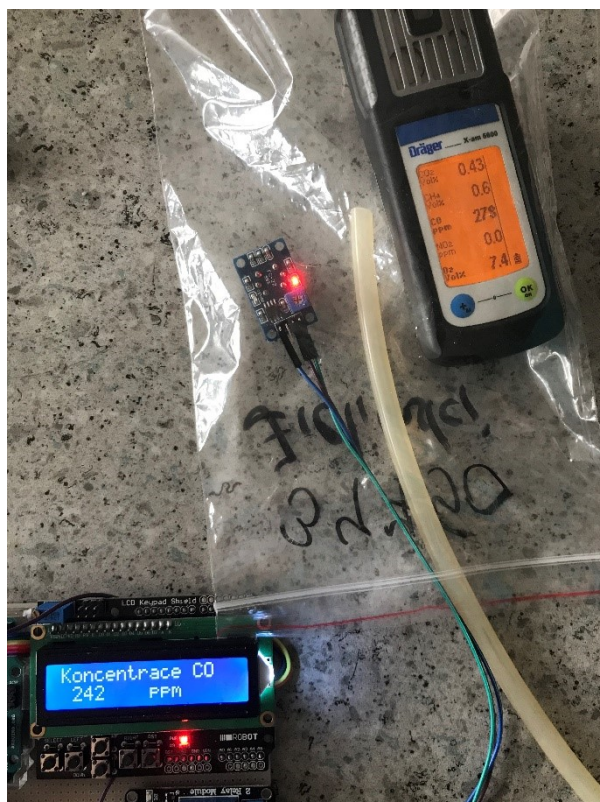
### 6.3 Provedení měření a testů

Zátěžové testování, kalibrace a ověření funkčnosti proběhlo v akreditované laboratoři na Hlavní báňské záchranné stanici v Ostravě – Radvanicích. Laboratoř je špičkově vybavena pro analýzu ovzduší kontaminovaného jakýmkoliv plynem. Pro účely této práce byl využit elektrochemický analyzátor Teledyne Analytical Instruments model 7500, který přesně změřil předem nastavenou koncentraci referenčních plynů. Nastavení probíhalo smícháním dvou plynů 100 % dusíku s koncentrací 1600 ppm oxidu uhelnatého. Poměr byl nastaven na hodnoty 105, 291 a 801 ppm. Tímto se zjistilo chování senzoru při nízké hodnotě, při hodnotě blízké alarmovému stavu a při hodnotě, která představuje plné zamoření hlídaného prostoru a z pohledu testování bylo důležité ověřit, zda se zařízení zcela zahlcené vysokou koncentrací CO dokáže vrátit do tzv. čistého stavu a znovu ukazovat a zpracovávat předem nastavené parametry. Znovu obnovení činnosti zařízení považuji za důležitý bezpečnostní faktor a lze pak toto zařízení považovat za bezpečné. Proto zahlcení přístroje a zkoumání případných změn bylo provedeno opakovaně i po nové kalibraci u Arduino verze, která se po každém zapnutí kalibruje tím, že změří napětí výstupu senzoru v čistém prostředí. Pro ekonomickou verzi byla potřeba nastavit potenciometrem hladinu, aby odpovídala stejné koncentraci, jakou spouští alarmový stav Arduino verze.

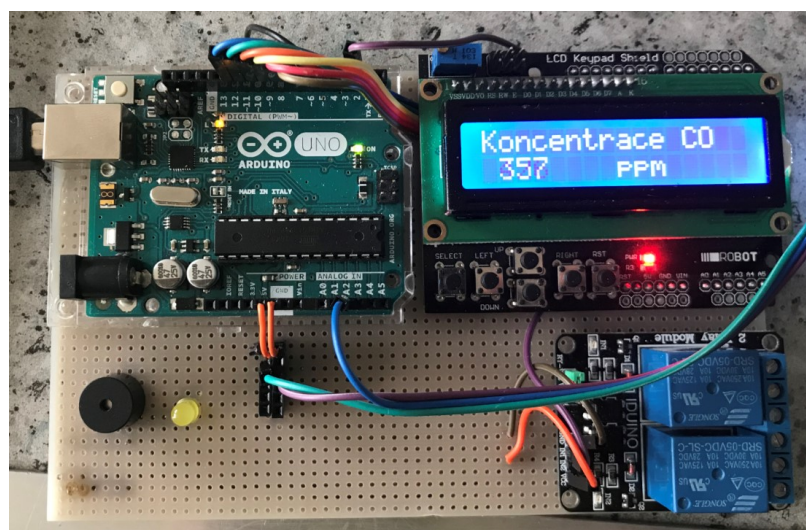


Obrázek 27 – Laboratorní kalibrační měřidlo s výřezem detailu displeje





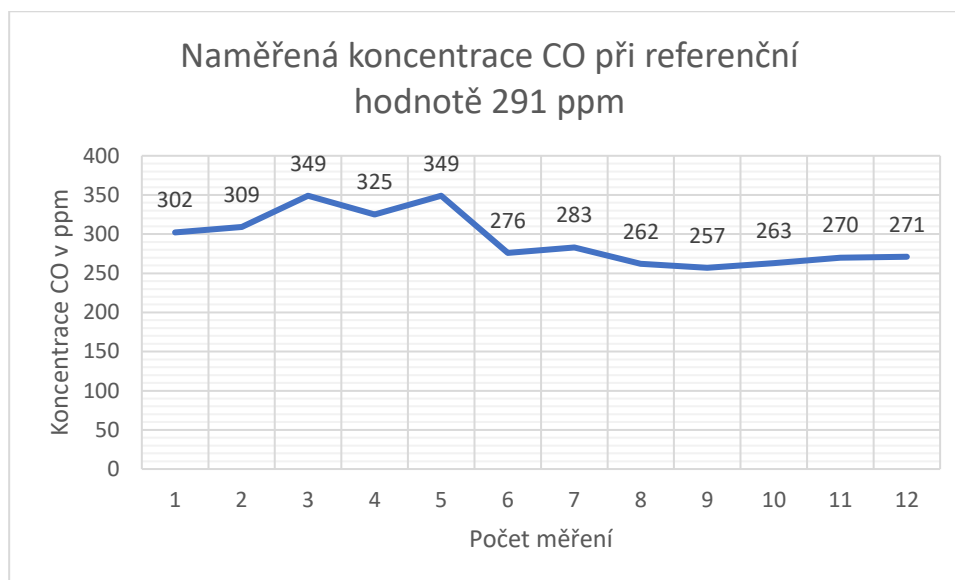
Obrázek 28 – Probíhající kalibrační měření.



Obrázek 29 – Zařízení ve stavu zátěžového testování.

## 7 Zhodnocení naměřených dat a srovnání konstrukčních řešení

Při měření byla změřena kalibrační hodnota na přístroji Teledyne Analytical Instruments model 7500 na hodnotu 291 ppm. Naměřené hodnoty z přístroje Arduino CO byly odečteny celkem 12krát.



Graf 1 – Naměřená koncentrace CO při měření plynu o hodnotě 291 ppm

Výpočet aritmetického průměru:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \times \sum X = \frac{1}{12} \times 3516 = 293 \text{ ppm}$$

kde  $n$  je počet měření,  $\bar{X}$  je aritmetický průměr a  $\sum X$  je suma všech změřených hodnot [35]

Výpočet výběrové směrodatné odchylky sigma ( $\sigma$ ):

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \times \sum (x - \bar{X})^2} = 33,292 \text{ ppm}$$

kde  $n$  je počet měření,  $\bar{X}$  je aritmetický průměr a  $\sum x$  je suma všech odchylek změřených hodnot od aritmetického průměru [35]

Průměrná naměřená hodnota při měření plynu o koncentraci 291 ppm ze senzoru CO byla 293 ppm a velice se blížila referenční hodnotě. Hodnoty byly velice nestabilní, a proto je nutné si vypočítat výběrovou směrodatnou odchylku, která dokáže lépe vyhodnotit chybovost měření. Směrodatná odchylka se počítá jako kvadratický průměr odchylek výsledku hodnot od aritmetického průměru. Pro spolehlivé pokrytí kritické hodnoty 300 ppm je nutné použít pravidla sigma. Toto pravidlo statisticky kompenzuje chyby měření tím, že pro nastavení spouštěcí úrovně alarmu se sníží výsledkem směrodatné odchylky. Pro větší spolehlivost se odečítá i vícekrát. Při použití pravidla

jedenkrát sigma od požadované úrovně by se přibližně 68 % všech relevantních hodnot mělo pohybovat v úrovni:

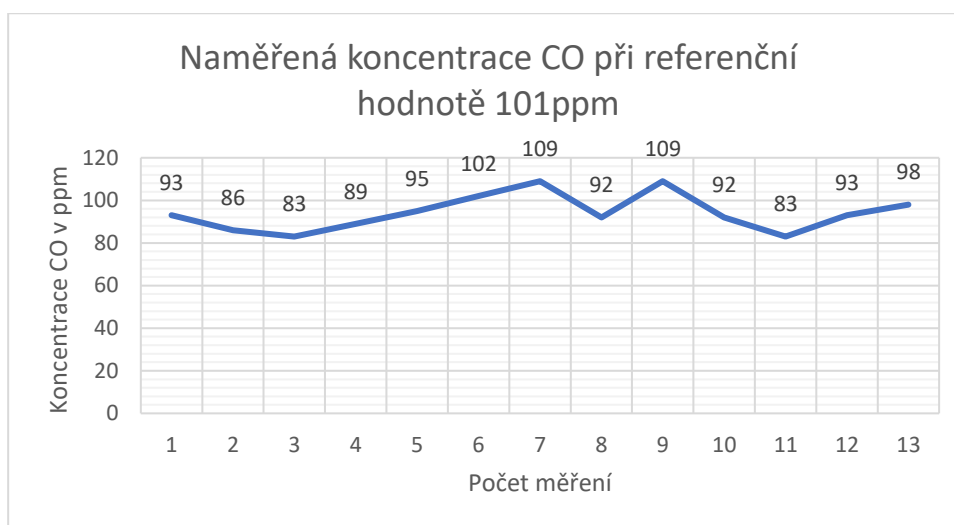
$$\pm 33,292 \text{ ppm} (266,708 \leftrightarrow 333,292)$$

$$300 - 33,292 = 266,708 \text{ ppm}$$

Při použití dvakrát sigma od požadované úrovně se zajistí, že přibližně 95 % hodnot by měly být v rozmezí maximálně:

$$\pm 2 \times 33,292 = 66,584 \text{ ppm} (233,416 \leftrightarrow 366,584)$$

Pro spuštění alarmu se zabýváme pouze snižováním požadované úrovně. Případné vyšší hodnoty se automaticky vyhodnotí jako alarmový stav. Při měření 101 a 801 ppm se výpočty zjistilo, že senzor je schopen pracovat přibližně se stejnou přesností jako při měření hodnoty okolo 300 ppm.



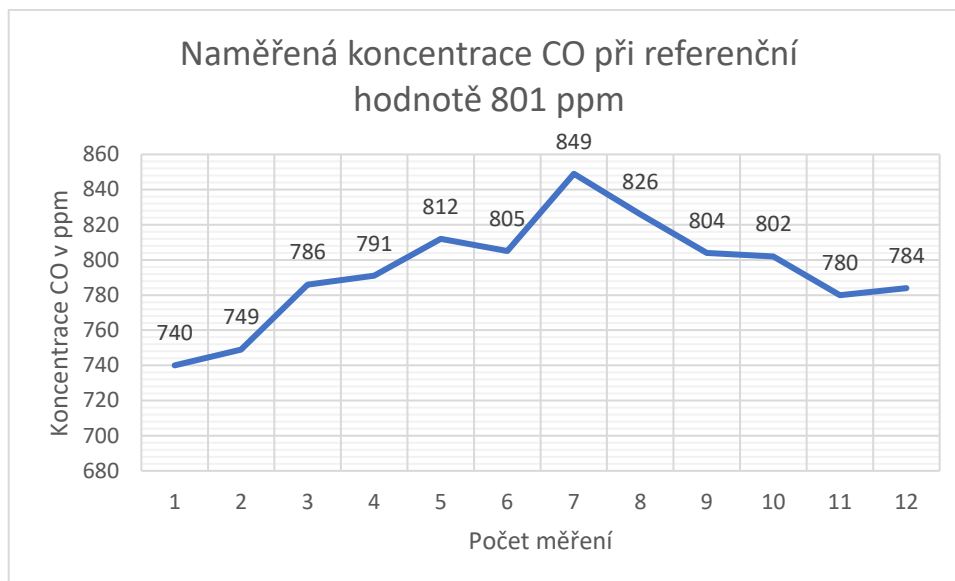
*Graf 2 – Měření nízké koncentrace oxidu uhelnatého*

#### **Výsledky měření:**

Aritmetický průměr při 12 měřeních: 94,153 ppm

Výběrová směrodatná odchylka( $\sigma$ ): 8,522 ppm

Pravidlo  $2\sigma$ : 17,044 ppm



*Graf 3 – Měření vysoké koncentrace oxidu uhelnatého*

### **Výsledky měření:**

Arit. průměr při 12 měření: 794 ppm

Směrodatná odchylka( $\sigma$ ): 30,10 ppm

Pravidlo  $2\sigma$ : 60,20 ppm

## **7.1 Srovnání konstrukčních řešení**

Výše prezentované výsledky jsou platné pro obě verze, ekonomickou i technologicky vyspělou, protože obě používají stejné čidlo CO. Odlišnost je pouze v tom, že ekonomická verze využívá digitální výstup z čidla a technologicky vyspělá analogový výstup. Reakce čidla na množství plynu však probíhá v primární fázi, takže testování a výpočty jsou shodné.

Odlišnost technologicky vyspělé verze je však výrazná. Data o koncentraci jsou s výhodou zobrazena na displeji zařízení. Lze je zpětně vyvolat, a hlavně lze určit, zda nedochází k postupnému zvyšování koncentrací CO, což by znamenalo včasné upozornění na revizi průtokového ohříváče pro vyčištění spotřebiče a komínové cesty. Dalším rozdílovým prvkem je možnost zapojení více čidel pro analýzu dalších plynů a samozřejmě s možností upozornění na havarijní událost. Technologicky vyspělá verze je na bázi stavebnice, což ji dává možnost variability na rozdíl od jednodušší ekonomické, kde byl kladen důraz jen na spolehlivost a finanční nenáročnost. Při cenovém srovnání obou verzí je ekonomická varianta výrazně levnější, celkové náklady za komponenty v této verzi nepřevýšily 400 Kč. V případě vyspělejší varianty sestavené z komponent stavebnice Arduino, náklady mírně překročily 1400 Kč. U obou verzí je nutné započítat cenu elektromagnetického plynového ventilu cca 1200 Kč.

## Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo snížit počet smrtelných nehod a otrav oxidem uhelnatým v prostorech, kde je používán zastaralý typ průtokového ohřívače vody využívajícího jako topné médium zemní plyn. Kombinace faktorů konstrukce komínových těles a osazení technologií ohřívající teplou užitkovou vodu je provázena situací, kdy komínová tělesa byly původně stavebně konstruovány pro spotřebiče k vytápění na tuhá paliva, nikoliv na ohřívače vody. Komíny ve staré zástavbě nebývají ošetřeny vyvložkováním a spotřebiče nejsou vybaveny čidly ztráty odvodu spalín nebo zanesení tepelného výměníku. Výsledkem je velké množství otrav. Bakalářská práce je zcela zaměřena na vyřešení problematiky, která provází selhání správné provozní funkce a následné zamoření obytného prostoru oxidem uhelnatým.

V teoretické části práce je podrobně zpracován fyziologický stav člověka vystaveného působení oxidu uhelnatého. Průběh otravy a způsoby první pomoci a také technologické možnosti analýzy tohoto plynu a podklady pro návrh realizace detektoru CO koncentrace v místnosti a eliminaci alarmových stavů. V této části práce je také popsán rozdíl mezi technologicky vyspělým průtokovým ohřívačem firmy Junkers, který je vybaven bezpečnostními čidly a průtokovým ohřívačem Mora 370/371, který je nejčastěji osazen v občanské vybavenosti a není vybaven sledováním provozu. Jsou označeny problematická místa a definován možný závadný provoz i s následky a řešením případně nastalé situace. Dále je pohledem do možností technologií vytipováno, které vhodné prvky by bylo možné použít ke splnění cíle této bakalářské práce. Jsou popsány možnosti čidel, aktivních i pasivních elektronických analogových a digitálních prvků, možnosti softwaru a konstrukce uzávěrů zemního plynu a možnosti odvětrání kontaminovaného prostoru.

V praktické části bakalářské práce je konstatováno, že problematika je natolik široká, že není možné ji vyřešit pomocí jednoho zařízení. Je nutné vyvinout, realizovat a ověřit funkci ekonomického modelu určeného pro lidi, kteří jsou v nájemním vztahu, nemohou nebo nechtějí investovat do své bezpečnosti. Praktická část je tedy rozdělena na ekonomickou a technologicky vyspělou verzi zařízení. K tomuto rozhodnutí bylo přistoupeno na základě analýzy úrazu oxidem uhelnatým, kdy nejvíce případů bylo v nájemných bytech staršího typu.

Praktická část práce obsahově popisuje návrh dvou řešení zobrazením pomocí vývojového diagramu, blokového schématu funkce, schématu konstrukce a popisu zpracování od informace přítomnosti plynu, až po dosažení nastavené havarijní hodnoty a spuštění záchranného děje. Realizace zařízení je podrobena zátěžovému testování, ověření funkce a kalibrace v laboratorních podmínkách. Na základě provedení měření je prohlášeno, že obě verze, ekonomická a technologicky vyspělá, jsou plně funkční a pro zkušební ověřovací provoz mohou být považovány za bezpečná. Zařízení nejsou určená k hromadné výrobě ani k nasazení do individuální podnikatelské sítě, protože zařízení nebylo testováno a ověřeno dle legislativy České republiky a nemá potřebné certifikáty, což nebylo cílem této bakalářské práce. Z pohledu zadání bakalářské práce však zařízení nejen splňuje plně všechny cíle, ale v mnoha parametrech zadání převyšuje, protože došlo k ověřovacímu provozu v akreditované laboratoři, která umožnila ověřit rozšířené závěry týkající se použití v reálné havarijní situaci. Zařízení tedy je schopno prakticky okamžitě vyřešit havarijní stav, bez ohledu na lidský faktor a ochránit lidské zdraví tím, že pohonné médium odstaví z činnosti, prostor odvětrá a o události informuje na předem nastavená místa, jak zabezpečovacím zařízením v objektu, tak textovou nebo hovorovou zprávou pomocí GSM.



## Literatura

- [1] SLAVÍKOVÁ, Jana a Jitka ŠVÍGLEROVÁ. *Fyziologie dýchání*. Praha: Karolinum, 2012. ISBN 978-80-246-2065-7
- [2] POPL, Milan a Jan FÄHNRIK. *Analytická chemie životního prostředí*. Vyd. 4., přeprac. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 1999. ISBN 80-7080-336-3
- [3] HÁJEK, MUDr. Michal. *Diagnostický a léčebný standard otravy oxidem uhelnatým* [online]. 2009 [cit. 2018-01-23]. Dostupné z: [https://www.urgmed.cz/postupy/cizi/2009\\_co.pdf](https://www.urgmed.cz/postupy/cizi/2009_co.pdf)
- [4] Záchranář. *Záchranář* [online]. RBZS Ostrava, 1977, 01.09.1997, 34(9) [cit. 2018-01-23] Dostupné z: <https://zachranar.cz/download/zachranar-1997-9-a-10/?wpdmdl=3139>
- [5] *Plynový průtokový ohřívač vody Junkers miniMAXX* [online]. [cit. 2018-01-23]. Dostupné z: [http://junkers-cz.resource.bosch.com/media/ttcz/dokumentace/instalace/instalace\\_vody\\_1/03\\_pr\\_tokov\\_wrd\\_g\\_2\\_67206\\_07989\\_cz\\_minimaxx.pdf](http://junkers-cz.resource.bosch.com/media/ttcz/dokumentace/instalace/instalace_vody_1/03_pr_tokov_wrd_g_2_67206_07989_cz_minimaxx.pdf)
- [6] VIDUNOVA, Jana a Robin ŠÍN. Otrava oxidem uhelnatým – stále aktuální problém. *Prevence úrazů, otrav a násilí* [online]. [cit. 2018-04-29]. ISSN 1804-7858. Dostupné z: <http://casopis-zsfju.zsf.jcu.cz/prevence-urazu-otrav-a-nasili/administrace/clankyfile/20130628082400406257.pdf>
- [7] BYDŽOVSKÝ, Jan. *Akutní stavy v kontextu*. Praha: Triton, 2008. ISBN 978-80-7254-815-6
- [8] WOODFOR, Chris. Carbon monoxide detectors. *Explainthatstuff!: The FREE online science and technology book* [online]. 2014 [cit. 2018-04-29]. Dostupné z: <http://www.explainthatstuff.com/carbonmonoxidedetectors.html>
- [9] FONOLLOSA, Jordi, Ana SOLÓRZANO a Santiago MARCO. *Chemical Sensor Systems and Associated Algorithms for Fire Detection: A Review* [online]. [cit. 2018-04-29]. DOI: 10.3390/s18020553. ISBN 10.3390/s18020553. Dostupné z: <http://www.mdpi.com/1424-8220/18/2/553>
- [10] *Electronic gas sensors and detectors: clasification and operating principles*. In: Electronics Base: education web [online]. 2011, 26. 7. 2012 [cit. 2018-04-29]. Dostupné z: <http://www.e-ucenje-kel.ftn.uns.ac.rs/eSite/index.php/general-description/gassensors/171-electronic-gas-sensors-and-detectors-clasification-and-operating-principles>
- [11] *Nařízení vlády České republiky č. 361/2007 Sb.: Nařízení vlády, kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci*. In: . 2007. Dostupné také z: [https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2007-361/zneni-20080101#p56\\_p56-3](https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2007-361/zneni-20080101#p56_p56-3)
- [12] Intoxikaci oxidem uhelnatým je dobré nepodceňovat. *Ministerstvo zdravotnictví České republiky* [online]. 2015 [cit. 2018-04-29]. Dostupné z: [https://www.mzcr.cz/dokumenty/intoxikaci-oxidem-uhelnatym-nadale-nelze-podcenovat\\_10202\\_1092\\_5.html](https://www.mzcr.cz/dokumenty/intoxikaci-oxidem-uhelnatym-nadale-nelze-podcenovat_10202_1092_5.html)
- [13] ČSN EN 50291-1. *Elektrická zařízení pro detekci oxidu uhelnatého v obytných prostorech*. 2010.
- [14] Oxid uhelnatý: Jak na hlásič oxidu uhelnatého. In: Hlásič-požáru: *Lepší když vás budí požární hlásič nežli hasič* [online]. Příbram: ČIP Trading s.r.o., 2011 [cit. 2018-04-28]. Dostupné z: [http://www.hlasice-pozaru.cz/pozarni\\_hlasice/hlasice\\_oxidu\\_uhelnateho.php](http://www.hlasice-pozaru.cz/pozarni_hlasice/hlasice_oxidu_uhelnateho.php)
- [15] *Druhy a možnosti prevence* [online]. [cit. 2018-04-29]. Dostupné z: <http://www.med.muni.cz/centrumprevence/informace-pro-vas/jak-se-branit/8-druhy-a-moznosti-prevence.html>
- [16] ZIMČÍK, Bc. Tomáš. *Elektrochemické senzory pro měření složení směsí plynů*. Zlín, 2008. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati

- [17] BUCHTA, Ing. Jiří. *Praktická řešení pro eliminaci otrav při provozu plynových spotřebičů kategorie „B“* [online]. 2014 [cit. 2018-04-29]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/vytapime-plynem/11038-problematiky-odtahu-spalin-plynovych-spotrebicu-na-aquathermu-2014>
- [18] ČSN 06 1002. Evropský systém třídění spotřebičů na plynná paliva podle způsobu odvětrání spalin (provedení spotřebičů). Praha: Český normalizační institut, 2006. 28 s.
- [19] Detektor výparů z rozpouštědel. *BOLA Měřicí, regulační a topenářská technika* [online]. [cit. 2018-04-29]. Dostupné z: <https://www.bola.cz/detektor-vyparu-z-rozpoustedel-evikon-e2630-voc>
- [20] MICHALEC, Libor. *Metody detekce zaplavení místnosti* [online]. 2015 [cit. 2018-04-29]. Dostupné z: <https://vyvoj.hw.cz/automatizace/plosna-a-bodova-detekce-zaplaveni.html>
- [21] KOPÁČEK, Petr, ed. *Hlásič požaru* [online]. [cit. 2018-04-29]. Dostupné z: <http://www.hzscr.cz/clanek/hlasice-pozaru.aspx>
- [22] *Detektory CO dle ČSN 50291* [online]. [cit. 2018-01-23]. Dostupné z: <https://www.vaskominik.cz/files/prodej/kidde-detektory-co-dle-csn-50291.pdf>
- [23] *Hlásiče požárů a detekce nebezpečných plynů* [online]. [cit. 2018-01-23]. Dostupné z: [www.hzscr.cz/soubor/hlasice-pozaru-a-detekce-plynu.aspx](http://www.hzscr.cz/soubor/hlasice-pozaru-a-detekce-plynu.aspx)
- [24] *Mora 370 datasheet* [online]. [cit. 2018-01-23]. Dostupné z: <http://www.plynoservis.info/wp-content/uploads/2015/02/Mora-PO-370.pdf>
- [25] *Arduino senzor MQ9 datasheet* [online]. [cit. 2018-01-23]. Dostupné z: <http://www.haoyuelectronics.com/Attachment/MQ-9/MQ9.pdf>
- [26] VODA, Zbyšek. *Průvodce světem Arduina*. Bučovice: Martin Stříž, 2015. ISBN 978-80-87106-90-7
- [27] *MQ-9 carbon monoxide gas detector* [online]. In: . [cit. 2018-04-29]. Dostupné z: <https://www.aliexpress.com/item/Free-shipping-10pcs-lot-MQ-9-carbon-monoxide-Combustible-gas-sensor-alarm-MQ9-module-for-arduino/1923491252.html>
- [28] *Arduino relé* [online]. [cit. 2018-01-23]. Dostupné z: <http://www.santy.cz/moduly-c22/arduino-rele-2x-5v-220v-10a-deska-modul-i11/>
- [29] *Elektromagnetické relé* [online]. [cit. 2018-04-29]. Dostupné z: [http://elektross.gjn.cz/elmotor\\_magnet/rele.html](http://elektross.gjn.cz/elmotor_magnet/rele.html)
- [30] Mivalt MP-W020020. *Unimar* [online]. [cit. 2018-04-29]. Dostupné z: <https://www.unimarcz.cz/product-sk/elektromagneticke-ventily-na-vodu/mivalt-mp-wo20020-elektromagneticky-vent/25656>
- [31] *SIM800L EVB: Farnux Electronics* [online]. [cit. 2018-04-29]. Dostupné z: <http://www.farnux.com/product/sim800l-v2-0-5v-wireless-gsm-gprs-module-quad-band/>
- [32] *SIM800 EVB kit user guide v1.00* [online]. [cit. 2018-04-29]. Dostupné z: [https://www.elecrow.com/download/SIM800\\_EVB%20kit\\_User%20Guide\\_V1.00.pdf](https://www.elecrow.com/download/SIM800_EVB%20kit_User%20Guide_V1.00.pdf)
- [33] *Jablotron 100* [online]. [cit. 2018-01-23]. Dostupné z: <https://www.jablotron.com/cz/katalog-produktu/alarmy/jablotron-100/>
- [34] *LCD Shield 1602 Arduino* [online]. [cit. 2018-04-29]. Dostupné z: [https://www.itead.cc/wiki/Arduino\\_1602\\_LCD\\_Shield](https://www.itead.cc/wiki/Arduino_1602_LCD_Shield)
- [35] LITSCHMANNOVÁ, Martina. *Úvod do statistiky (interaktivní učební text)* [online]. In: . Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 16.1.2011, s. 525 [cit. 2018-04-29]. Dostupné z: [http://mi21.vsb.cz/sites/mi21.vsb.cz/files/unit/interaktivni\\_uvod\\_do\\_statistiky.pdf](http://mi21.vsb.cz/sites/mi21.vsb.cz/files/unit/interaktivni_uvod_do_statistiky.pdf)

## Přílohy:

### Příloha I: Programovací kód pro technologicky vyspělou verzi.

```
#include <LiquidCrystal.h>
#include <SoftwareSerial.h>
LiquidCrystal lcd(7, 8, 9, 10, 11, 12);
SoftwareSerial GSM(1, 0);
const int MQ_PIN=A2;
int RL_VALUE=5;
float RO_CLEAN_AIR_FACTOR=11.30;
int CALIBRATION_SAMPLE_TIMES=500;
int CALIBRATION_SAMPLE_INTERVAL=100;
int READ_SAMPLE_TIMES=10;
int READ_SAMPLE_INTERVAL=40;
int relay = 2;
int buzzer = 6
const int ledPin = 4;
#define GAS 1
float COCurve[3] = {2.3,0.72,-0.34};
float Ro = 10
void setup()
{
    Serial.begin(9600);
    pinMode(ledPin, OUTPUT);
    pinMode (buzzer, OUTPUT) ;
    pinMode (relay, OUTPUT);
    lcd.begin(16,2);
    lcd.print("Zahrivani");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("senzoru");
    delay(1000);
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("Kalibrace...");
    delay(1000);
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("Andre BP projekt");
    Ro = MQ_kalibrace(MQ_PIN);
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("Hotovo!      ");
    lcd.print("Ro= ");
    lcd.print(Ro);
    lcd.print("kohm");
```

```

    delay(1500);
    lcd.clear();
void loop()
{
    long iPPM_CO = 0;
    long iRs = 0;
    iPPM_CO = MQGetGasPercentage(MQRead(MQ_PIN) / Ro, GAS_CO);
    iRs = MQRead(MQ_PIN);
    if (iPPM_CO >= 234)
    {
        lcd.clear();
        lcd.setCursor(0,0);
        lcd.print("Pozor vysoky");
        lcd.setCursor(1,5);
        lcd.print("obsah CO");
        GSM.println("AT+CMGF=1");
        delay(1000);
        GSM.println("AT=CMGS\"+4207766903XX\"\\r"); // nastavení
telefonního čísla
        delay(1000);
        GSM.println("POPLACH. ZAMORENY PROSTOR V KOUPELNE");
        delay(200);
        GSM.println((char)26);
        digitalWrite(ledPin, HIGH);
        digitalWrite(ledPin3, LOW);
        digitalWrite (buzzer, HIGH) ;
        delay(50);
        digitalWrite (relay, HIGH);
        delay(50);
        digitalWrite (buzzer, LOW) ;
        delay(50);
        digitalWrite (buzzer, HIGH) ;
        delay(50);
        digitalWrite (buzzer, LOW) ;
        delay(50000);
    }
    else
    {
        digitalWrite (ledPin, LOW);
        digitalWrite (buzzer, LOW) ;
        digitalWrite (relay, LOW);
        lcd.clear();
    }
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("Koncentrace CO");

```

```

        lcd.setCursor(1,5);
        lcd.print(iPPM_CO);
        lcd.print("      ppm");
        delay(1500);
    }
float MQ_vypocetodporu(int raw_adc)
{
    return ( ((float)RL_VALUE*(1023-raw_adc)/raw_adc));
}
float MQ_kalibrace(int mq_pin)
{
    int i;
    float val=0;

    for (i=0;i<CALIBARAION_SAMPLE_TIMES;i++) {
        val += MQ_vypocetodporu(analogRead(mq_pin));
        delay(CALIBRATION_SAMPLE_INTERVAL);
    }
    val = val/CALIBARAION_SAMPLE_TIMES;
    val = val/RO_CLEAN_AIR_FACTOR;
    return val;
}
float MQRead(int mq_pin)
{
    int i;
    float rs=0;
    for (i=0;i<READ_SAMPLE_TIMES;i++) {
        rs += MQ_vypocetodporu(analogRead(mq_pin));
        delay(READ_SAMPLE_INTERVAL);
    }
    rs = rs/READ_SAMPLE_TIMES;
    return rs;
}
long MQ_procentaplynu(float rs_ro_ratio, int gas_id)
{
    if ( gas_id == GAS_CO*10 ) {
        return MQ_vypocetprocent(rs_ro_ratio,COCurve);
    }
    return 0;
}
long MQ_vypocetprocent(float rs_ro_ratio, float *pcurve)
{
    return (pow(10,( ((log(rs_ro_ratio)-pcurve[1])/pcurve[2]) +
pcurve[0])));
}

```